





Shahrood
University of
Technology



دانشگاه صنعتی شاهرود

خردایش پیشرفته

Advanced Comminution

مدرس: محمد جهانی چگنی

m.jahani1983@gmail.com

مهر ماه ۱۴۰۱

منابع اعلام شده از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

منابع:

1. Mineral Processing Technology, B. A. Wills, 2006, ISBN0750644508.
2. Mineral Processing Design and Operation, A. Gupta & D. S. Yan, 2006, ISBN 0080454615.
3. Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems, R. P. King, 2001, ISBN 0080511848.
4. تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه بندی) - بهرام رضایی، موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، ۱۳۷۶.
5. مقدمه‌ای بر آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن - محمد نوع پرست - مهدی قزایانی - هادی عبدالهی، نوآور، ۱۳۸۷.
6. کانه آرایی، جلد اول، حسین نعمت الهی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴، شابک ۹۶۴-۰۳-۴۸۹۰-۲.



سرفصل های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



تعداد واحد : ۲

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : -

هدف : بررسی عوامل موثر در خردایش

سرفصل درس

- مقدمه : مروری بر روشهای خردایش سنگ شکنی و آسیاب اهداف و مشکلات آن
- قوانین خردایش
- روشهای تعیین قابلیت خردایش
- معادله آسیا کردن ناپیوسته ، سینتیک مرتبه اول برای آسیا کردن ، موازنه جرم ابعاد
- روشهای تعیین توابع شکنندگی و انتخاب : روش آسیا کردن مواد با دانه بندی محدود، روش استفاده از ردیاب
- محاسبه عوامل شکنندگی بر اساس نتایج آسیای ناپیوسته و پیوسته
- تعیین مشخصات آسیا قطر، سرعت، مقدار و اندازه بار خردکننده بر اساس مشخصات بار اولیه و محصول
- اندازه گیری توان آسیا ، معادلات توان و بهینه سازی توان و مقدار بار خردکننده
- نوع آستر و تاثیر آن بر خردایش
- سایبیل و انتخاب گلوله : تاثیر اندازه گلوله بر تابع شکست
- تاثیر مواد شیمیایی در خردایش
- محاسبه کارایی آسیاهای صنعتی
- مقایسه کارکرد آسیاها (میله ای، گلوله ای، هاردینگ و خود شکن)
- کلاسیفایرها : عوامل موثر و محاسبه بار در گردش در آسیاها
- آسیاهای پودر کننده

فهرست مطالب

- ❖ عوامل مؤثر بر انتخاب مدارهای خردایش
- ❖ نوع و خصوصیات تجهیزات و شمای عملیات مدارهای سنگ شکنی
- ❖ انتخاب و تعیین اندازه سنگ شکن های اولیه
- ❖ انتخاب و تعیین اندازه سنگ شکن های ثانویه و ثالثیه
- ❖ آشنایی با سنگ شکنی در داخل معدن و سنگ شکنی قلوه سنگی
- ❖ انتخاب و تعیین اندازه آسیاهای استوانه ای فشار بالا
- ❖ آشنایی با مشکلات طراحی مدارهای آسیاکنی
- ❖ نحوه تعیین مشخصات آسیای گلوله ای
- ❖ انتخاب و تعیین اندازه آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن
- ❖ آزمایش های تعیین سختی سنگ
- ❖ آشنایی با کمک خردایش ها
- ❖ نقش آستر در آسیاها

رفرنس‌های درس

- 1- **“Advances in Comminution”**, S. Komar Kawatra, 1st edition, SME, 2006.
- 2- **“Recent Advances in Mineral Processing Plant Design”**, Deepak Malhotra, Patrick R. Taylor, Erik Spiller, and Marc LeVier, 1st edition, SME, 2009.
- 3- **“Principles of Mineral Processing”**, Maurice C. Fuerstenau and Kenneth N. Han, 1st edition, SME, 2003.
- 4- **“SME Mineral Processing handbook”**, Norman L. Weiss, 1st edition, SME, 1985.

رفرنس‌های درس

- 5- **“Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control Proceedings”**, Andrew L. Mular, Doug N. Halbe, and Derek J. Barratt, 1st edition, SME, 2002.
- 6- **“Modeling & Simulation of Mineral Processing Systems”**, R. P. King, 1st and 2nd editions, Department of Metallurgical Engineering, University of Utah, USA, Butterworth Heinemann, 2001, 2012.
- 7- **“Wills’ Mineral Processing Technology – An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery”**, Barry A. Wills and Tim Napier-Munn, 7th and 8th editions, Elsevier Science & Technology Books, 2006, 2016.

رفرنس های درس

- 8- “**Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling**”, L. G. Austin, R. R. Klimpel, P. T. Luckie, 1st edition, SME, 1984.
- 9- “**Comminution – Theory and Practice**”, Komar Kawatra, SME, 1992.
- 10- “**Comminution Practices**”, Komar Kawatra, SME, 1997.
- 11- “**Mineral Comminution Circuits, Their Operation and Optimisation**”, T. J. Napier-Munn, S. Morrell, R. D. Morrison, T. Kojovic, JKMRC, Australia, 1996.

رفرنس‌های درس

12- **“Mineral Crushing and Grinding Circuits, Their Operation and Optimization, Design and Control”**, A. J. Lynch, Elsevier, New York, 1997.

13- **“Crushing and Grinding – The Size Reduction of Solids Materials”**, G. C. Lowrison, CRC Press, USA, 1974.

14- **“Mineral Processing Design and Operation – An Introduction”**, 1st and 2nd editions, A. Gupta & D. S. Yan, 2006 and 2016.

رفرنس‌های درس

- 15- “**Mineral Processing – Foundations of theory and practice of minerallurgy**”, Jan Drzymala, 1st edition, Wroclaw University of Technology, 2007.
- 16- “**Mineral Processing**”, E. J. Pryor, 3rd edition, Elsevier, 1965.
- 17- “**Mineral processing and extractive metallurgy – 100 years of innovation**”, Corby G. Anderson, Robert C. Dunne, John L. Uhrie, 1st edition, SME, 2014.
- 18- “**Basics in Mineral Processing**”, metso, 10th and 11th editions, 2015 and 2018.

رفرنس‌های درس

- 19- “**Introduction to Mineral Processing**”, E. G. Kelly, D. J. Spottiswood, 3rd edition, Mineral Engineering Services, Australia, 1989.
- 20- “**Mineral Processing**”, S.K. Jain, 2nd edition, CBS publisher, 2001.
- 21- “**SME MINERAL PROCESSING & EXTRACTIVE METALLURGY HANDBOOK**”, MANAGING EDITOR: ROBERT C. DUNNE, EDITORS: S. KOMAR KAWATRA & COURTNEY A. YOUNG, 1st edition, SME, 2019.

منابع فارسی (جهت یادگیری بیشتر)

- ۱- «تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه‌بندی)»، بهرام رضائی، مؤسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، تهران، ۱۳۶۷.
- ۲- «کانه‌آرایی»، حسین نعمت‌اللهی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۱۳۸۴.
- ۳- «مقدمه‌ای بر آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن»، محمد نوع‌پرست، مهدی قراباغی، و هادی عبداللهی، انتشارات نوآور، ۱۳۸۷.
- ۴- «جزوه درس خردایش پیشرفته»، صمد بنیسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۵.
- ۵- «جزوه درس کانه‌آرایی»، صمد بنیسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۷.
- ۶- «جزوه درس خردایش و طبقه‌بندی»، صمد بنیسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۵.
- ۷- «جزوه کانه‌آرایی ۱»، محمد نوع‌پرست، دانشگاه تهران، ۱۳۷۷.
- ۸- «جزوه کانه‌آرایی پیشرفته»، محمد نوع‌پرست، دانشگاه تهران، ۱۳۷۷.
- ۹- «جزوه مهندسی خردایش»، محمد نوع‌پرست، دانشگاه تهران، ۱۳۸۱.

سایت‌های مفید برای دانلود رفرنس‌ها

<http://gen.lib.rus.ec/scimag/index.php>

<http://sci-hub.ren/>

<http://bookzz.org/>

<http://booksc.org/>

www.Liberica.org/books/

www.slideshare.net/?ss

<http://b-ok.org/>

<http://sci-hub.hk/>

<http://www.telsmith.com/>

<https://freepaper.me/>

سایت‌های مفید برای یادگیری

www.smenet.org

<http://www.metso.com/>

www.Metsominerals.com

www.sciencedirect.com

<http://www.denvermineral.com/>

<http://hardinge.com/>

<http://www.min-eng.com/>

<http://www.kmpc.ir/>

<https://www.multotec.com/>

<http://www.bureauveritas.com/home>

<http://www.pala.com/>

<https://www.911metallurgist.com/>

<http://video.flsmidth.com/>

<http://www.xinhaimining.com/video>

وبسایت شخصی برای دانلود اسلایدهای درسی

<https://sites.google.com/site/mjahani1983/>

Secure | <https://sites.google.com/site/mjahani1983/>

M. Jahani1983

Home

- Home
- 100
- 1100
- 125
- 504
- 601
- Advanced Comminution
- Advanced Mineral Processing
- AI (Artificial Intelligence)
- Articles
- Bioleaching
- Books
- Breakage Function
- CFD (Computational Fluid Dynamics)
- Chess
- Comminution
- Computer Programming (C++)
- Contact Us
- Crushers
- Crushing & Milling
- DEM (Discrete Element Method)
- Dr. Amookhteh
- English
- Essential Words for the TOEFL

Mineral Processing

وبسایت شخصی

Advanced Comminution



Advanced-Comminution-Full-Text-95-1.pdf (12155k)

Mohammad Jahani, Feb 12, 2017, 9:43 PM

v.1




Add files

وبسایت دانشگاه صنعتی شاهرود

<https://shahroodut.ac.ir/fa/as/?id=S826>

سیاست گذاری / معاونت ها / دانشکده ها / سامانه ها

صفحه اصلی | دوشنبه ۱۱ مهر ۱۴۰۱ | ورود | جستجو | العربية | English




دانشگاه صنعتی شاهرود
Shahrood University of
Technology


دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

[درباره دانشکده](#) [اخبار افراد](#) [گروههای آموزشی](#) [اعلانات و چارت آموزشی](#) [آزمایشگاه ها](#) [فعالیت های علمی و پژوهشی](#) [فرایندها](#) [ارتباط با ما](#)


کانه آرای و فرآوری مواد معدنی



محمد کارآموزیان
فرآوری مواد معدنی
رتبه علمی: دانشیار



اصغر عزیزی
فرآوری مواد معدنی
رتبه علمی: دانشیار
[مدیر گروه]



محمد جهانی چگنی
فرآوری مواد معدنی
رتبه علمی: استادیار

آدرس: شاهرود میدان هفت تیر، دانشگاه صنعتی شاهرود

وبگاهها

دسترسی سریع

برنامه هفتگی

برنامه هفتگی استاد در ترم 4011

22:00	21:00	20:00	19:00	18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	09:00	08:00	روز/ساعت
23:00	22:00	21:00	20:00	19:00	18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	09:00	شنبه
															شنبه
															یکشنبه
															دوشنبه
															سه شنبه
															چهارشنبه
															پنجشنبه

نحوه ارزشیابی

امتحان پایان ترم: ۸ نمره

پروژه و ارائه کلاسی: ۶ نمره

ترجمه کتاب یا مقاله: ۶ نمره

حضور غیاب : صفر نمره (به ازای هر غیبت نیم نمره کسر می شود)

تحقیقات کوچک و مثبت های کلاسی: ۳ نمره

(اهداف) اهمیت خردایش

- خردایش = سنگ‌شکنی و آسیا
- اهمیت خردایش؟
- ۱- از دید کاربردی (فنی)
- ۲- از دید اقتصادی: بیشترین هزینه ما در این بخش است.
- خردایش 50 - 70% از انرژی مصرفی هر کارخانه کانه‌آرایی را در بر می‌گیرد.
- رسیدن به درجه آزادی مطلوب از اهداف خردایش است.
- ۱- هزینه مصرفی ۲- هزینه ثابت و قیمت بالای وسایل خردایش
- اهداف خردایش:
- ۱- تولید ذرات هموزن/یکنواخت از نظر ابعادی (شن و ماسه)
- ۲- آزادسازی کانی‌های با ارزش از زمینه باطله
- ۳- افزایش سطح ذرات به منظور استفاده در فرآیندهای پرعیارسازی مانند فلوتاسیون/لیچینگ و غیره
- مطالعات کانی‌شناسی به ما می‌گویند در سایزهای مختلف آزادی، درجات آزادی چقدر است.
- معمولاً سایزی که 70 - 80% ذرات آزاد می‌شوند.

(اهداف) اهمیت خردایش

سایز (μm)	درجه آزادی (%)
400	20
300	40
200	50
100	70
36	90
25	92

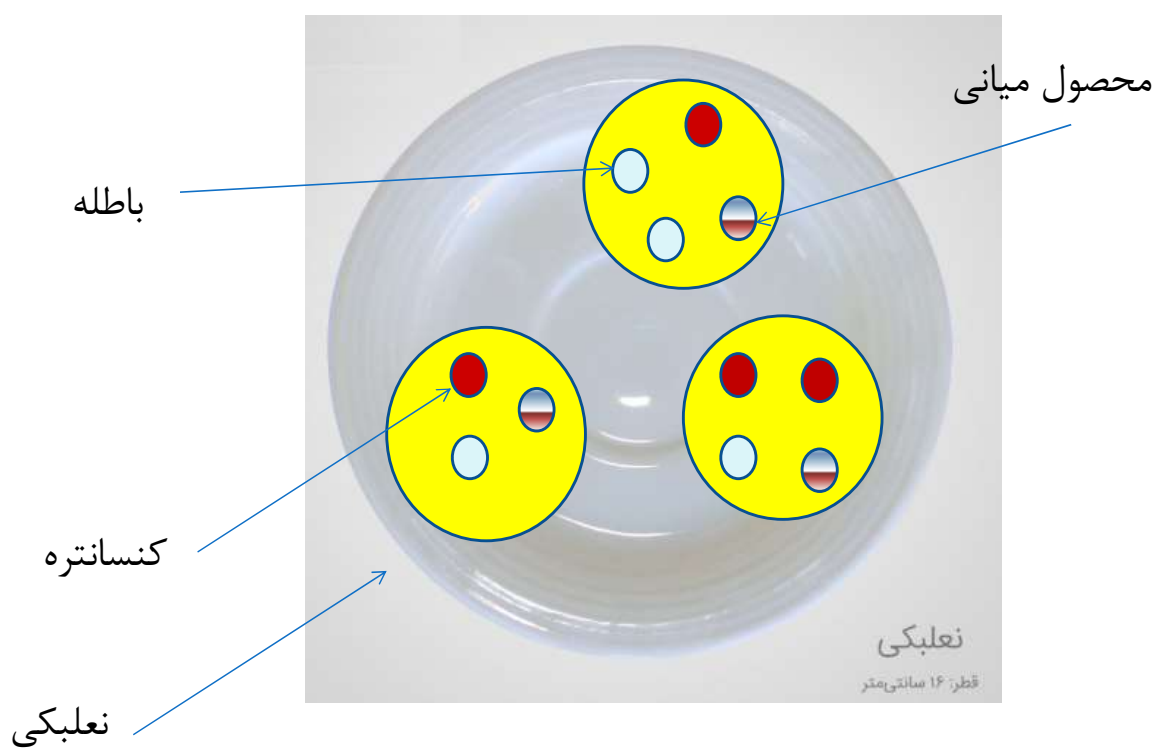
روش‌های اندازه‌گیری درجه آزادی:

۱- استفاده از میکروسکوپ

۲- استفاده از روش واسطه سنگین

۳- روش‌های مغناطیسی، الکتروستاتیکی

(اهداف) اهمیت خردایش



روش‌های اندازه‌گیری درجه آزادی

□ برای یک نعلبکی 20 بار این کار را تکرار می‌کنیم و متوسط می‌گیریم.

$$\text{درجه آزادی} = \frac{\text{تعداد کانی های کاملاً آزاد شده کنسانتره}}{\text{تعداد کانی های کاملاً آزاد شده کنسانتره} + \text{میانی}} = \frac{1}{2} \times 100 = 50\%$$

□ در شن و ماسه فقط خردایش داریم (ماده با ارزش و باطله نداریم). از دو طریق می‌توان تهیه کرد:

□ ۱- از کوره ۲- رودخانه‌ای (روندگی آن بالا است و مناسب جاده سازی نیست، باید از دو طرف شکسته باشد تا برای جاده سازی مناسب باشد).

□ در صنعت شن و ماسه هدف تولید ذرات هموزن (یکنواخت) از نظر ابعادی است.

□ در سیلیس هم اگر آهن همراه آن نباشد، فقط خردایش داریم.

□ اصطلاح نرمه در شیشه $100 - 150 \mu\text{m}$ است.

تقسیم‌بندی حدودی ابعاد حاصل از خردایش

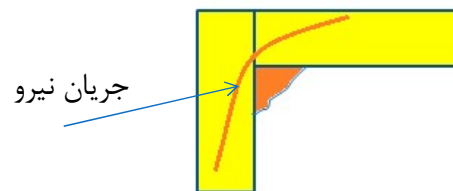
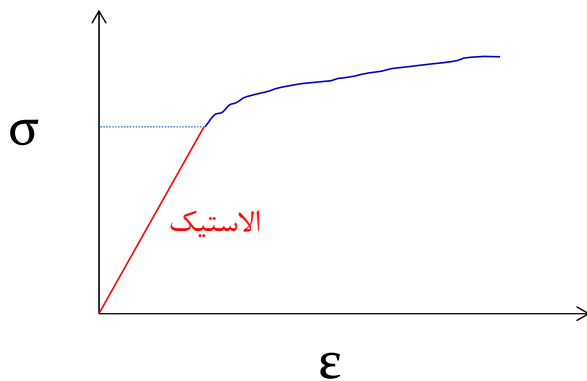
نام واحد خردایش	ابعاد حاصل از خردایش
سنگ‌شکنی اولیه	از 1 m - تا 10 cm +
سنگ‌شکنی ثانویه	از 10 cm - تا 1 cm +
آسیای اولیه	از 1 cm - تا 1 mm +
آسیای ثانویه	از 1 mm - تا 100 μm +
آسیای بسیار ریز	از 100 μm - تا 10 μm +
آسیای بی‌نهایت ریز	از 10 μm - تا 1 μm +

مکانیزم‌های خردایش

- مقاومت یک جسم ناشی از پیوند عناصر مختلف آن است.
- جسم دارای مقاومتی است که ناشی از نوع پیوند آن است و در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شود.
- انواع مختلف تنش می‌تواند به یک جسم وارد شود.
- اگر نیرویی که ما وارد می‌کنیم، کمتر از مقاومت جسم باشد، جسم نمی‌شکند.
- سؤالی که پیش می‌آید این است که خود نیرویی که حالا صرف می‌شود، کجا می‌رود؟ ۱- تنش باقیمانده (residual stress)، ۲- گرما
- نیرو باید به شکل‌های مختلف آزاد شود. مقداری از آن به گرما تبدیل می‌شود و مقداری از آن به زمین منتقل می‌شود، اما مقداری از آن که نمی‌تواند منتقل شود، در جسم باقی می‌ماند.

مکانیزم‌های خردایش

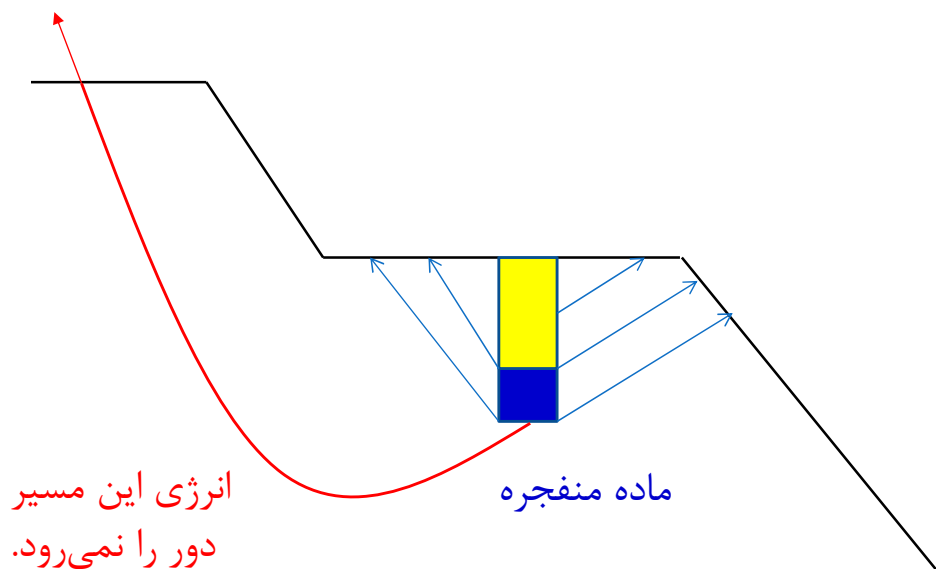
زمانی اتفاق می‌افتد که انرژی/تنش اعمال شده به جسم بیش از حد مقاومت آن باشد.	۱- ضربه (Impact/Shatter)
میزان تنش اعمال شده به جسم کمتر از مقدار مقاومت است.	۲- سایش (Abrasion/Attrition)
میزان تنش اعمال شده به جسم کمتر از مقدار مقاومت است.	۳- کلیواژ (Cleavage/Chipping)



مکانیزم‌های خردایش

☐ در آتشفشانی پس از انفجار:

☐ انرژی از اولین مسیری که می‌تواند خود را به سطح آزاد می‌رساند.



مکانیزم‌های خردایش

□ ۱- ضربه

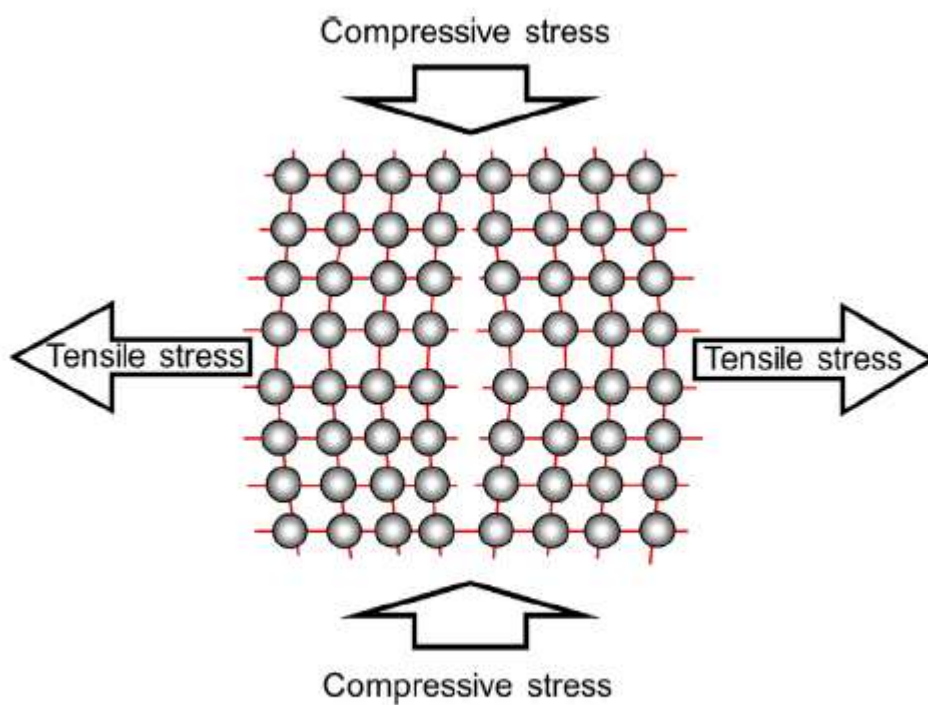
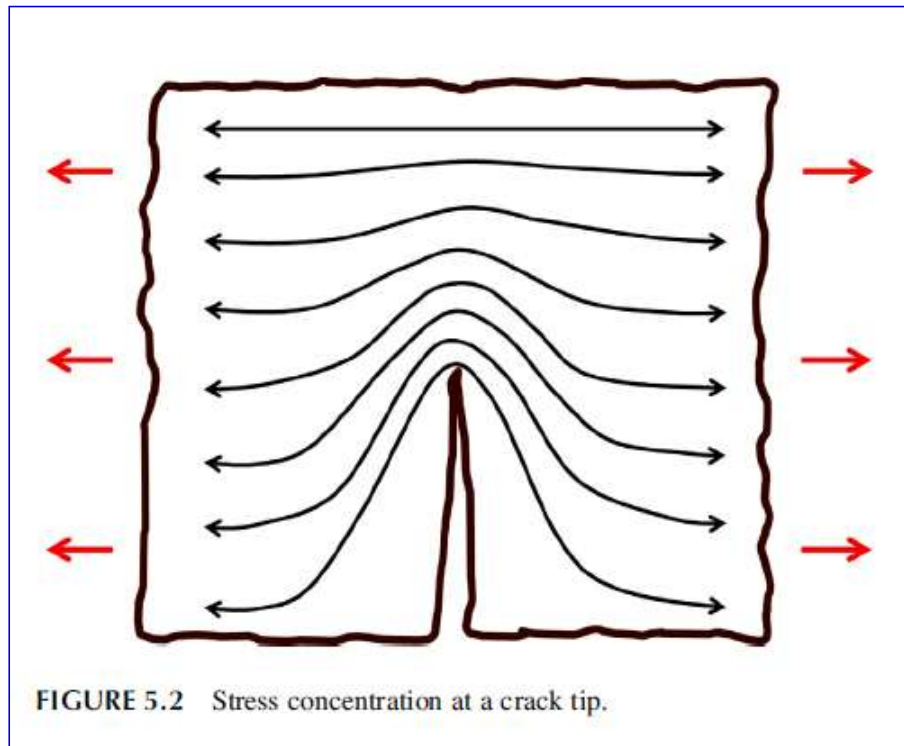


FIGURE 5.1 Strain of a crystal lattice resulting from tensile or compressive stresses.

مکانیزم‌های خردایش

- اگر جسم ناپیوستگی داشته باشد، تمرکز تنش راحت‌تر اتفاق می‌افتد و جریان انرژی در نوک ناپیوستگی تراکم (تمرکز) تنش را به وجود می‌آورد.
- در حالت عادی نمی‌تواند این جسم را بشکند.



مکانیزم‌های خردایش

جسم چگونه شکسته می‌شود؟ (تمام مراحل که در شکست یک جسم بوجود می‌آیند؟)

۱- اعمال تنش

۲- تمرکز تنش

۳- بیشتر بودن تنش از مقاومت جسم

۴- ایجاد و انتشار ناپیوستگی

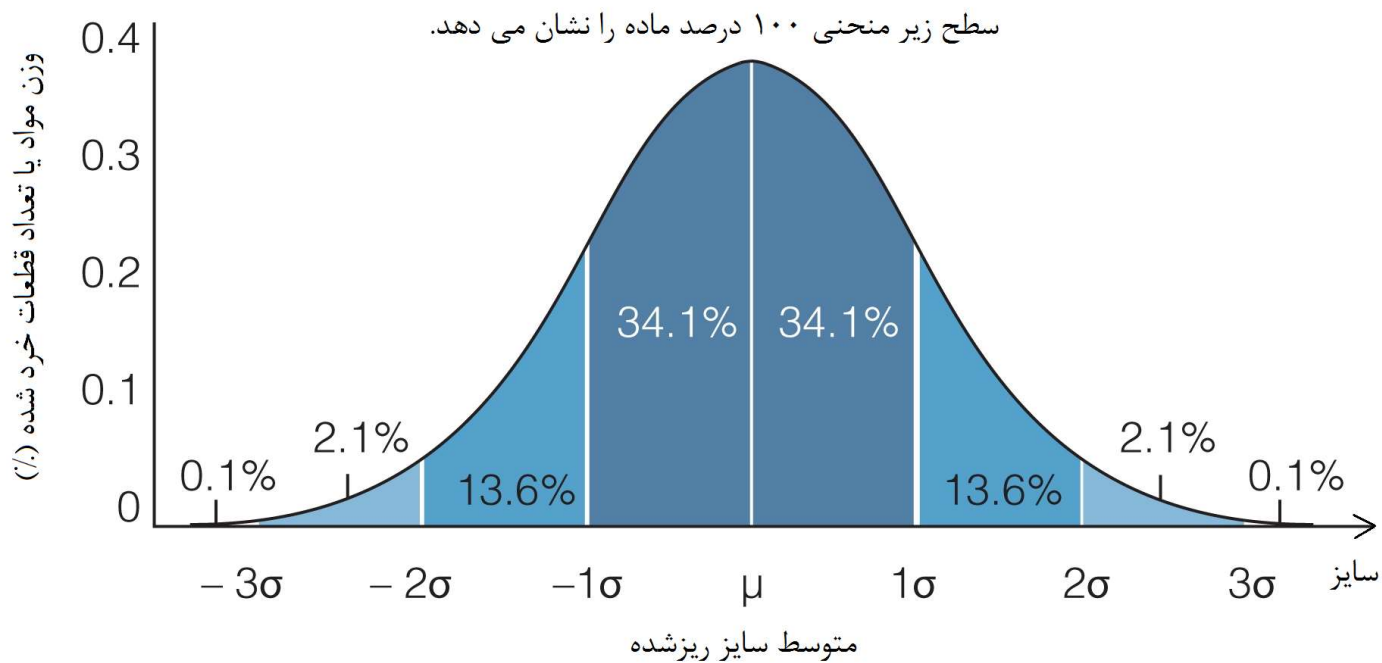
۵- خردایش

تنش در تمام جهات به جسم وارد می‌شود.

سائز غالب به خود ماده و میزان تنش بستگی دارد.

پدیده شکست غالب در یک آسیای گلوله‌ای ضربه است (در مقایسه با سائز و کلیواژ).

مکانیزم‌های خردایش



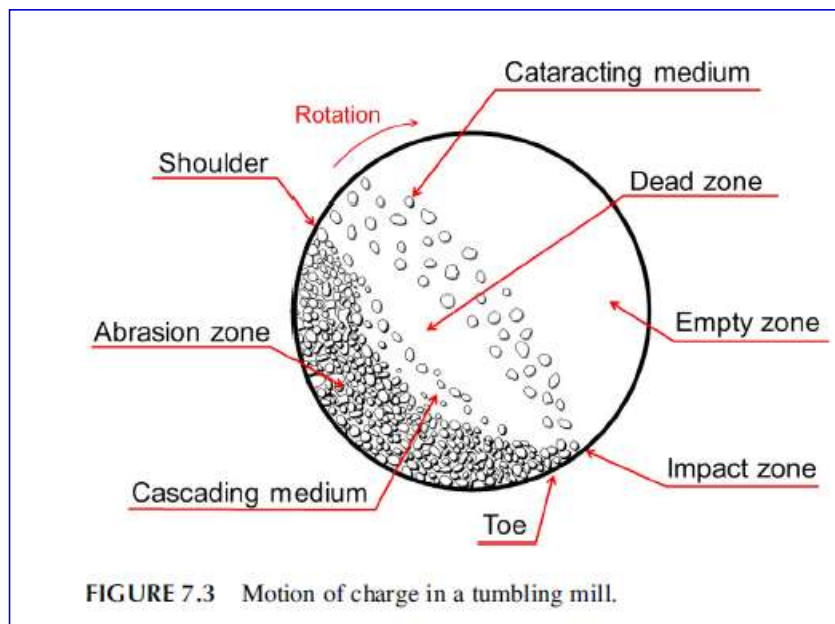
مکانیزم‌های خردایش

□ ۲- سایش: (5%)

□ در سایش و کلیواژ انرژی کمتر از مقاومت است.

□ در حالت سایش، تنش اعمال شده در سطوح محدودی از جسم عمل می‌کند.

□ در دستگاه scrubber (پس از آسیای میله‌ای یک اسکرابر قرار می‌دهند) در مورد سیسلیس، سطحی روی سطح دیگر ساییده می‌شود.



سرعت بحرانی = 20 دور بر دقیقه
سرعت دوران آسیا = 16 دور بر دقیقه

مکانیزم‌های خردایش

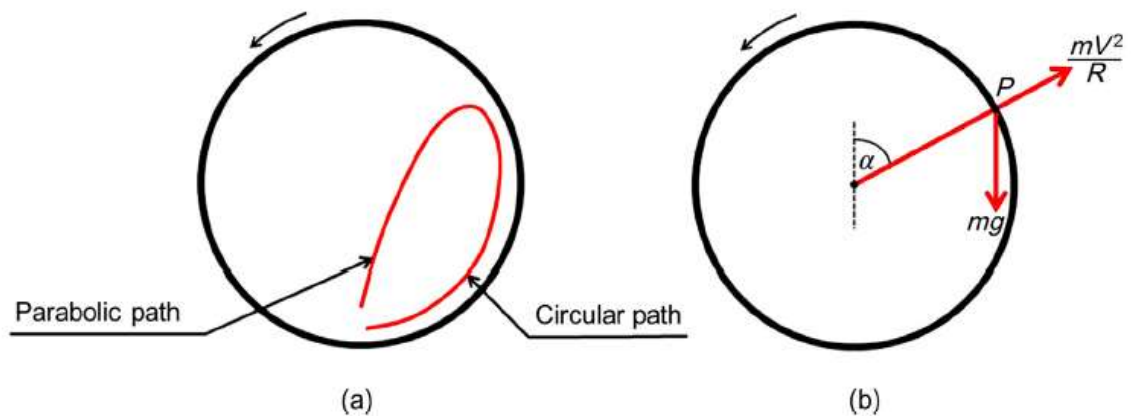


FIGURE 7.4 (a) Trajectory of grinding medium in tumbling mill, and (b) Forces acting on the medium.

- گلوله در هر مقطعی وجود دارد.
- آسیای گلوله‌ای را در حالت آبشاری بزرگ (cataract) قرار می‌دهیم. اما آسیای میله‌ای را در حالت آبشاری کوچک (cascade) قرار می‌دهیم.
- بنابراین، در آسیای میله‌ای سایش بیشتر از آسیای گلوله‌ای می‌باشد.
- در آسیای میله‌ای نیز سایش مکانیزم غالب نیست (حدود 5% است).
- انرژی را چگونه کاهش دهیم؟

مکانیزم‌های خردایش

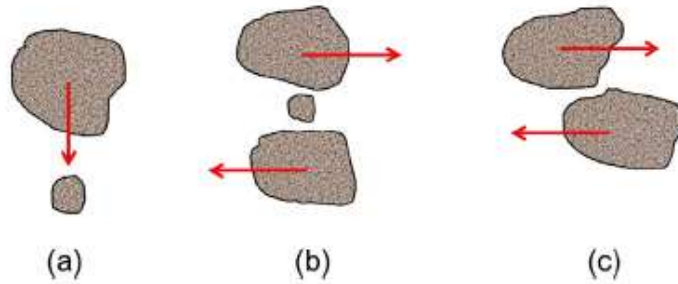
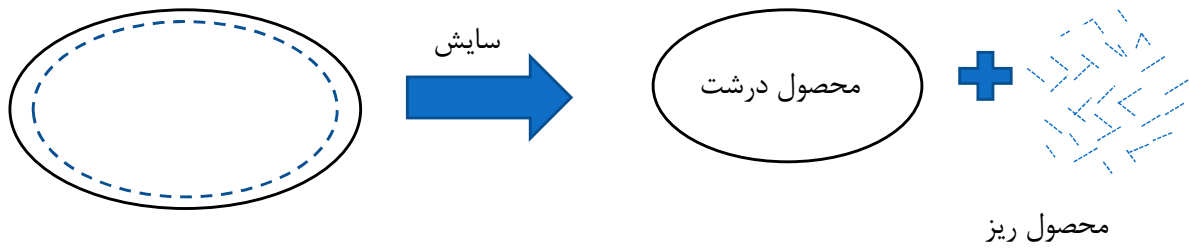


FIGURE 7.1 Mechanisms of breakage: (a) Impact or compression, (b) Chipping or attrition, and (c) Abrasion.

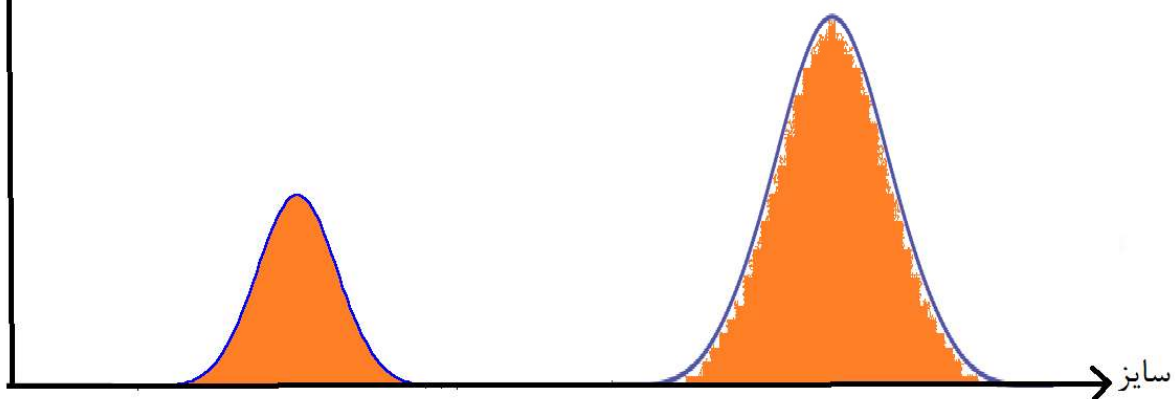


□ سایش دو تا محصول می‌دهد: محصول دانه‌درشت و محصول دانه‌ریز

مکانیزم‌های خردایش

وزن مواد یا تعداد قطعات خرد شده (درصد)

مجموع این دو سطح ۱۰۰ درصد ماده اولیه را نشان می دهند

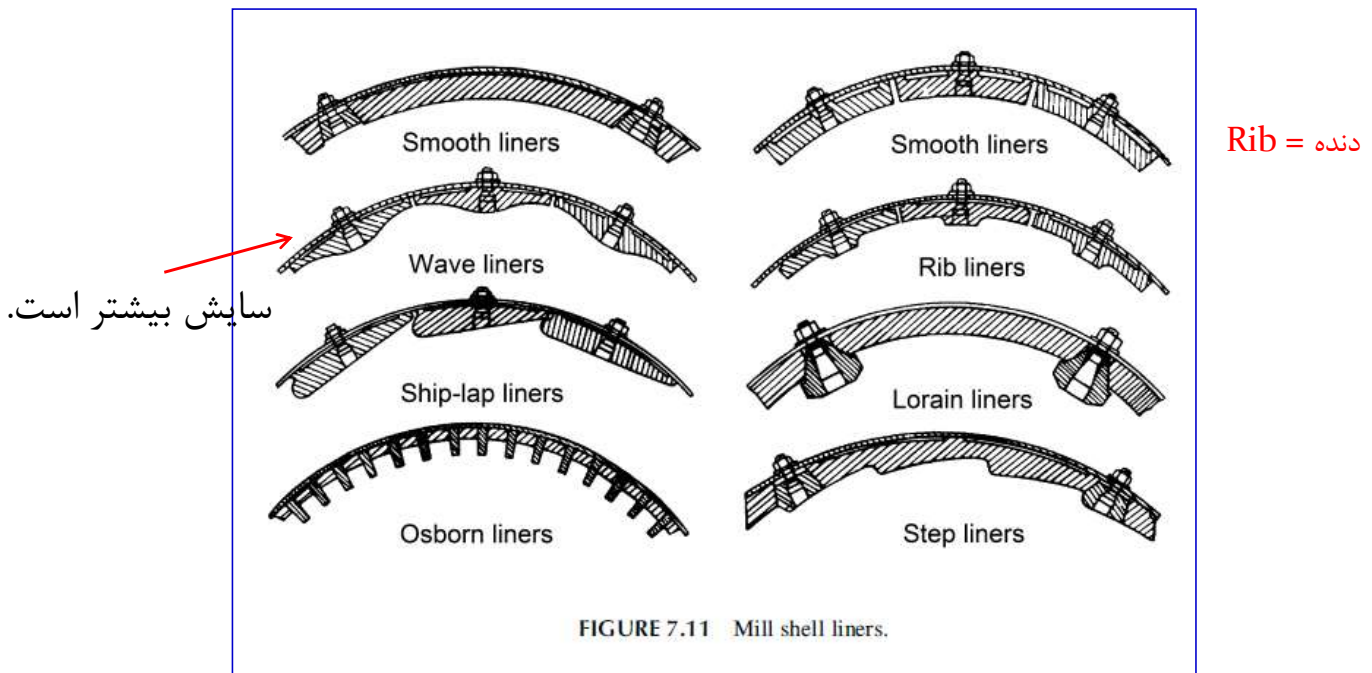


۱۰۰ درصد ماده ریز زیر
این سطح قرار دارد.

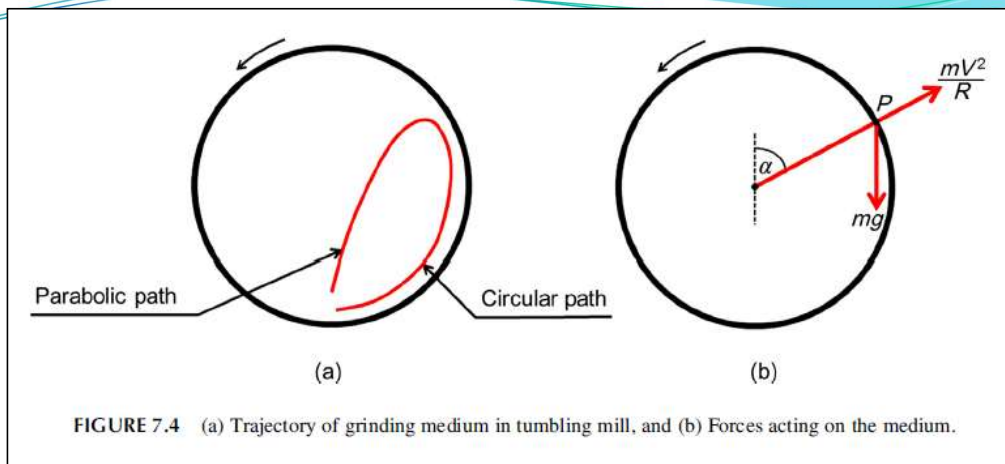
۱۰۰ درصد ماده درشت
زیر این سطح قرار دارد.

مکانیزم‌های خردایش

- ❑ مکانیزم سایش برای تولید پودر میکرونیزه که خوراک دام و طیور است قابل استفاده است.
- ❑ از ماده حاصل از سایش کربنات کلسیم (آهک) به عنوان filler استفاده می‌شود.
- ❑ با کاهش سرعت بحرانی آسیا می‌توان میزان سایش را تا 8% افزایش داد.
- ❑ با طراحی نوع لاینر نیز می‌توان میزان سایش را افزایش داد.



مکانیزم‌های خردایش



$$\frac{mV^2}{R-r} = mg \cos \alpha \quad (7.1)$$

where m is the mass of the ball (kg), V the linear velocity of the ball (m s^{-1}), and g the acceleration due to gravity (m s^{-2}).

Since V is related to N by the following:

$$V = \frac{2\pi N(R-r)}{60} \quad (7.2)$$

Then:

$$\cos \alpha = \frac{4\pi^2 N^2 (R-r)}{60^2 g} = \frac{0.0011 N^2 (D-d)}{2} \quad (7.3)$$

where D is the mill diameter and d the ball diameter in meters.

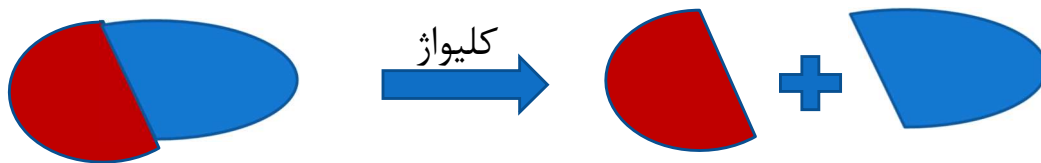
The critical speed of the mill occurs when $\alpha = 0$, that is, the medium abandons its circular path at the highest vertical point. At this point, $\cos \alpha = 1$.

Therefore:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}} \text{ rev min}^{-1} \quad (7.4)$$

مکانیزم‌های خردایش

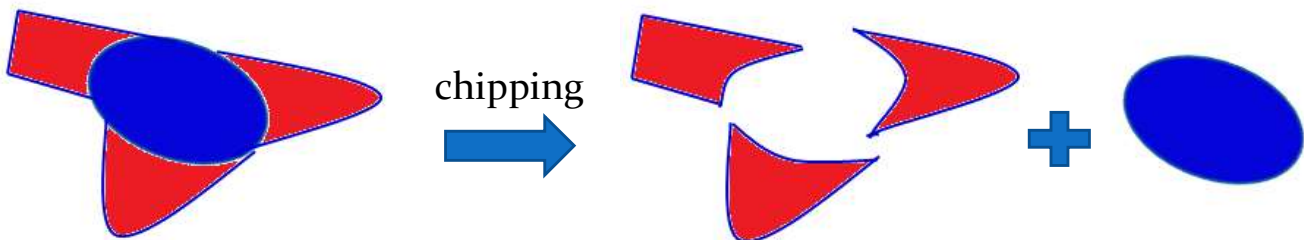
□ ۳- کلیواژ: جسم دارای سطوح ناپیوستگی است. ماده شکسته می‌شود، اما میزان تنش کمتر از مقاومت جسم است.



□ ۳- Chipping: جسم دارای قناسی است. قناسی شکل، نقاط تیز، یا قطعات نوک‌دار در جسم وجود دارد.

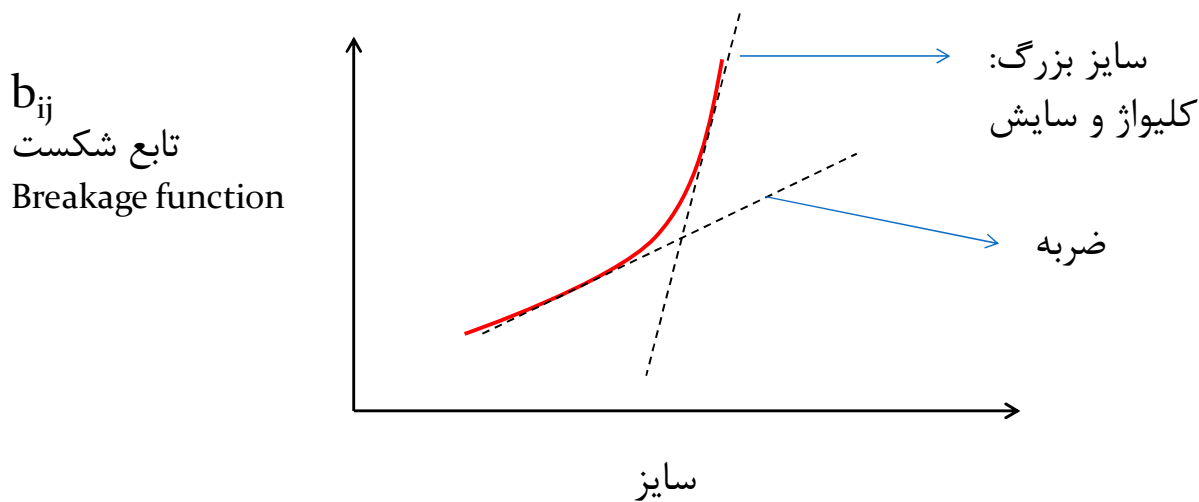
□ عدم تقارن هندسی در آن وجود دارد.

□ به دلیل عدم تقارن هندسی شکسته می‌شود.



مکانیزم‌های خردایش

□ در آسیا اولین قسمتی که جسم شکسته می‌شود، قسمت‌های دارای کلیواژ و chipping است.



□ ابتدا در ماده کلیواژ و chipping را داریم. در زمان کوتاه کلیواژ و chipping روی می‌دهند و ماده به یک سایز ریزتر از خودش می‌رود.

□ b_{ij} = بخشی از مواد که در سایز j قرار دارد و بر اثر خردایش (تحت یک بار خردایش) به سایز i منتقل می‌شود.

مکانیزم‌های خردایش

$$\frac{dw_i}{dt} = -s_i w_i + b_{ij} s_j w_j$$

□ معادله سینتیکی درجه اول

□ w_i = وزن سائز i

□ s_i = Selection function = تابع انتخاب، انتخاب‌پذیری ذرات برای خردایش (تحت یک

بار خردایش) که به ساختار ماده معدنی بستگی ندارد و به محیط خردایش بستگی دارد.

□ b_{ij} = breakage function = تابع شکست، به ماده معدنی بستگی دارد (مثل سختی)

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری‌های خردایش)

Energy-based Comminution Models

آشناترین معادله عمومی و مبتنی بر انرژی خردایش معادله‌ای است که در سال 1937 توسط Walker et al. ارائه شد. شکل دیفرانسیلی آن معادله به صورت زیر است:

$$dE = -K x^{-n} dx \quad (5.1a)$$

که در آن dE افزایش انرژی برای تحت تأثیر قرار دادن اندازه ذرات است، dx کاهش تجمعی اندازه ذرات است. n و K ثوابت هستند. شکل انتگرالی آن به صورت زیر است:

$$E = -K \int_F^P x^{-n} dx \quad (5.1b)$$

که در آن F و P اندازه‌گیری اندازه ذرات خوراک و محصول (معمولاً یک قطر) هستند.

فرض $n=2, 1, \text{ or } 1.5$ به ترتیب سه قانون خردایش «three comminution laws» مربوط به Bond، Kick، Von Rittinger و Bond را ارائه می‌کند.

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری‌های خردایش)

Peter Ritter von Rittinger



Peter von Rittinger, Lithograph by Josef Kriehuber, 1856

Born	January 23, 1811 Neutitschein (Nový Jičín)
Died	December 7, 1872 (aged 61) Vienna
Known for	Invention of heat pump

□ قانون ریتینگر:

□ قدیمی‌ترین تئوری، یعنی (1867) Von Rittinger، بیان می‌کند که انرژی مصرف‌شده در کاهش اندازه متناسب با مساحت سطح جدید ایجاد شده است. مساحت سطح یک وزن معلوم از ذرات با قطر یکنواخت به طور معکوس با قطر متناسب است، بنابراین، قانون Von Rittinger برابر است با:

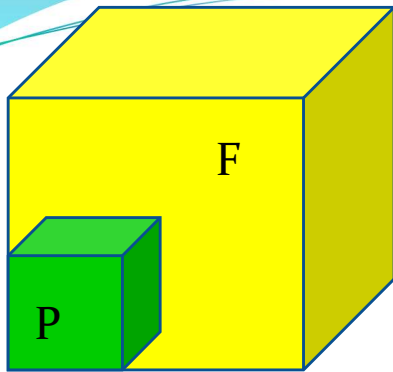
$$E_{VR} = K \left(\frac{1}{P} - \frac{1}{F} \right) \quad (5.2)$$

which is the solution of Eq. (5.1b) for $n = 2$.

□ قانون ریتینگر برای ذرات ریزدانه مناسب است. این قانون به خوبی برای محدوده آسیاکنی ریز $10 - 1000 \mu\text{m}$ به کار می‌رود.

□ ثابت K به نوع سنگ مرتبط است، مثلاً گرانیت و سنگ آهک. نبودن مقیاسی در مورد به دست آوردن K از معایب این قانون است.

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری‌های خردایش)



□ قانون ریتینگر:

□ $W = \text{انرژی}$

□ $S = \text{مساحت}$

□ $W \propto \Delta S$

□ $W = K \Delta S$

□ $W = K (S_2 - S_1) = K (\text{تعداد ذرات محصول در واحد حجم} \times \text{سطح یکی از ذرات محصول} - \text{تعداد ذرات خوراک در واحد حجم} \times \text{سطح یکی از ذرات خوراک})$

□ $W = K (1/P^3 \times P^2 - 1/F^3 \times F^2) \rightarrow W = K(1/P - 1/F)$

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری‌های خردایش)

□ قانون کیک:

□ دومین تئوری قدیمی، یعنی Kick (1885)، بیان می‌کند که انرژی مورد نیاز متناسب با کاهش حجم ذرات است.

□ حل معادله 5.1b برای $n = 1$ یک شکل معادله Kick را ارائه می‌کند:

$$E_K = K \left(\ln \frac{F}{P} \right) \quad (5.3)$$

□ که در آن F/P نسبت خردایش (Reduction Ratio) است. تئوری Kick بدین معنا است

که انرژی مورد نیاز فقط به نسبت خردایش بستگی دارد، و نه اندازه اولیه ذرات.

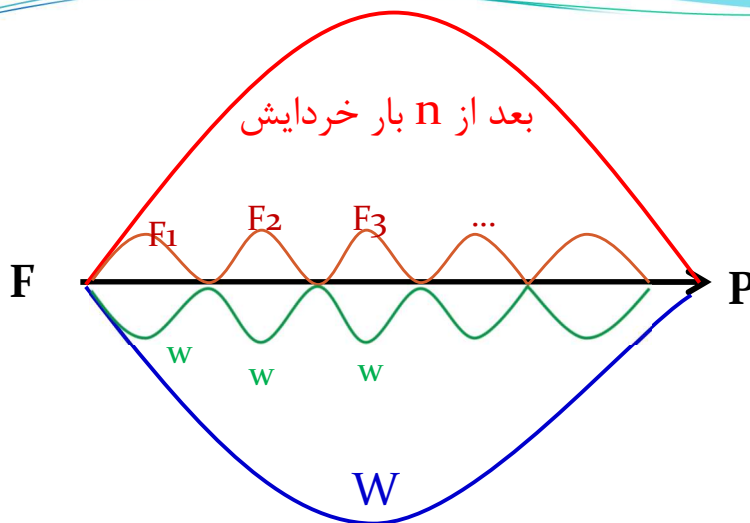
□ این تئوری برای ذرات دانه‌درشت مناسب است.

□ Hukki (1975) نشان داد قانون کیک به طور منطقی در محدوده سنگ‌شکنی بالای حدود

1 cm دقیق و صحیح است.

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری های خردایش)

□ قانون یک:



- $X = \text{نسبت خردایش کلی} = F/P$
- $x = \text{نسبت خردایش هر بار خرد شدن (یکبار خرد شدن)} = F/F_1 = F_1/F_2 = \dots \rightarrow$
- $X = x^n \rightarrow n = \ln X / \ln x$
- $W = \text{انرژی مورد نیاز برای خردایش کلی}$
- $w = \text{انرژی مورد نیاز برای یک بار خردایش} \rightarrow W = n w \rightarrow n = W/w \rightarrow$
- $W/w = \ln X / \ln x \rightarrow W / \ln X = w / \ln x = K \rightarrow W = K \ln X \rightarrow$
- $W = K \ln (F/P)$

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری های خردایش)

□ قانون باند:

Fred C. Bond



Fred C. Bond, 1972

Born	June 10, 1899 Belcher Hill, near Golden, Colorado
Died	January 23, 1977 (aged 77) Tucson, Arizona
Nationality	United States
Occupation	mining engineer, laboratory director, consulting engineer
Known for	advancing the applied science of comminution

- Fred Chester Bond (June 10, 1899 – January 23, 1977) was an American mining engineer. A graduate and former professor of the Colorado School of Mines, he worked in the mining equipment and ore milling equipment business of Allis-Chalmers from 1930 to 1964.

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری های خردایش)

□ قانون باند:

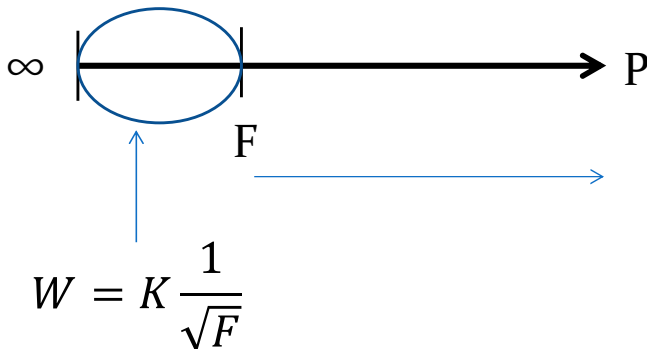
- به عنوان تئوری سوم خردایش، Bond (1952) بیان کرد که انرژی ورودی متناسب با طول نوک ترک جدید (new crack tip length) ایجاد شده در شکست ذرات است.
- Bond در سال 1958 دوباره تئوری اش را به صورت یک رابطه نسبتاً تجربی در مقاله اش بیان کرد. این معادله معمولاً به صورت زیر نوشته می شود:

$$W = 10 \times W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad (5.4)$$

- که در آن W انرژی ورودی (کار) بر حسب کیلووات ساعت بر تن متری (یا بر تن کوچک، 907 kg، در انتشارات اولیه باند) است.
- W_i اندیس کار (Work index) (یا اندیس کار باند) بر حسب کیلووات ساعت بر تن متری، و P_{80} و F_{80} بر حسب میکرون 80% اندازه های محصول و خوراک هستند.
- حل معادله 5.1b برای $n = 1.5$ فرم مشابه معادله 4-5 ارائه می دهد.

قوانین کلاسیک خردایش (تئوری های خردایش)

□ قانون باند:



□ انرژی لازم جهت خرد کردن یک جسم از ابعاد بی نهایت متناسب با عکس ریشه دوم اندازه

ذرات محصول می باشد. $W \propto \frac{1}{\sqrt{P}}$

$$W = K \frac{1}{\sqrt{P}} \quad \square$$

$$\square \rightarrow W = K \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)$$

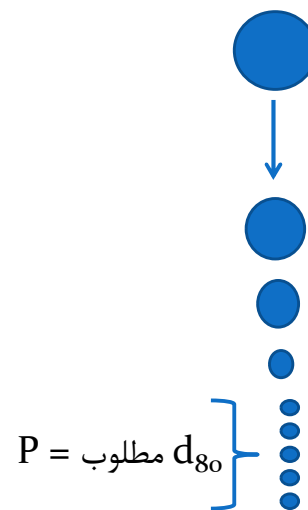
قوانین کلاسیک خردایش (تئوری های خردایش)

□ که در آن $\text{Work Index} = K = W_i$ = انرژی لازم برای خرد کردن یک تن کوچک ماده معدنی تا از ابعاد ∞ به 100 میکرون برسد.

$$W_i = K \left(\frac{1}{\sqrt{100}} - \frac{1}{\sqrt{\infty}} \right) \quad \square$$

$$\square \rightarrow K = 10 W_i \rightarrow W = 10 W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)$$

kWh/st



□ تئوری Bond به طور منطقی در محدوده آسیاکنی آسیای گلوله‌ای و آسیای میله‌ای سنتی قابل کاربرد است.

□ ایراد هر سه روش: میزان محاسبه انرژی آنها بیش از حد لازم است.

روش‌های اندازه‌گیری قابلیت خردایش مواد معدنی

- ۱- روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند (Bond Ball Mill Work Index)
- ۲- روش استاندارد آسیای میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)
- ۳- تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)
- ۴- اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)
- ۵- تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ‌شکنی ضربه‌ای)
(Crushability test) (Impact crushing test)
- ۶- تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)
- ۷- تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test)
- ۸- تست مقاومت فشاری تک‌محوره (Unconfined Compressive Strength)
- ۹- آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMR (JKMRC Drop Weight Test)
- ۱۰- تست خردایش آسیای نیمه‌خودشکن
(Semiautogenous Mill Comminution (SMC))
- ۱۱- اندیس توان آسیای نیمه‌خودشکن (SAG Power Index (SPI))
- ۱۲- آزمایش SAGDesign

Your Company Name Postal Address Postal Code Phone (000) 000-0000 Fax (000) 000-0000		Pro-Forma Invoice Date: August 15, 2011 Document No: 100 Customer Account No: 123																															
Bill To: Name Company Name Postal Address Postal Code VAT No: Phone: (000) 000-0000 Fax: (000) 000-0000																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Code</th> <th>Description</th> <th>Quantity</th> <th>Unit Price</th> <th>Disc %</th> <th>TOTAL (excl VAT)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">SUB-TOTAL</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">VAT</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">TOTAL INCL. VAT</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Code	Description	Quantity	Unit Price	Disc %	TOTAL (excl VAT)							SUB-TOTAL						VAT						TOTAL INCL. VAT						<p style="text-align: center;">پیش فاکتور Pro-Forma Invoice</p> <p style="text-align: center;">پیش فاکتور، برگه پیش خرید، <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">صورت حساب موقت</p> <p style="text-align: center;">Pro forma Invoice <input type="checkbox"/></p>	
Code	Description	Quantity	Unit Price	Disc %	TOTAL (excl VAT)																												
SUB-TOTAL																																	
VAT																																	
TOTAL INCL. VAT																																	
Banking Details Account Name: Bank: Branch code: Account Number: Your Reference: Customer Account Number Please settle your account within 7 business days																																	
<small>OWNERSHIP OF ALL GOODS SHALL NOT PASS TO THE PURCHASER UNTIL THE INVOICE HAS BEEN SETTLED IN FULL</small>																																	

روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند (Bond Ball Mill Work Index)

<https://www.911metallurgist.com/blog/bond-work-index-test-procedure-and-method>

<https://www.911metallurgist.com/blog/bond-grindability-test-procedure>



روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند



- ❑ $305 \times 305 \text{ mm} = 12'' \times 12''$
- ❑ 285 گلوله
- ❑ 20.125 kg
- ❑ 70 rpm
- ❑ Feed size: -6 mesh (3330 micron)

1. Clean the Ball Mill and accessory equipment before starting.
2. Count and weigh the Balls by sizing group. Record the results on the Ball Count and Charge Weight Determination form.
3. Determine a charge weight made up of exactly 285 steel Balls weighing as close to 20,125 grams as possible.
4. Adjust the final weight up or down by substituting one Ball of one size with a new Ball of the same size, maintaining an exact count of 285 steel Balls.
 - 25 balls of 1-1/2"
 - 39 balls of 1-1/4"
 - 60 balls of 1"
 - 68 balls of 7/8"
 - 93 balls of 3/4"

For a total of 285 balls and around 44.5 lbs.

روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند



$$W = 10 \cdot W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)$$

The **short ton** is a unit of mass equal to 2,000 pounds-mass (907.18474 kg)

$$W = W_i \frac{\sqrt{F} - \sqrt{P}}{\sqrt{F}} \times \frac{100}{\sqrt{P}}$$

W_i = work index of the material comminuted. It is a relative measure of the resistance of the material to fracture.

F, P = feed and product 80% passing size in microns

W = energy required, kWh/short ton.

Useful forms of this equation are as follows:

$$W_i = \frac{W}{\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}}}$$

$$P = \left[\frac{10 W_i \sqrt{F}}{W \sqrt{F} + 10 W_i} \right]^2$$

روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند

For the ball mill grindability test, the work index is calculated from the following revised equation (in short tons):

$$W_i = \frac{44.5}{(P_i)^{0.23} \times (G_{pb})^{0.82} \times \left[\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right]}$$

where:

P_i = sieve size tested (microns)

G_{pb} = ball mill grind ability

W_i, P & F have the same meanings as in the top equation.

Equipment required:

Laboratory ball mill, 34.02 cm x 34.02 cm with following ball charge:



Ball diameter (cm)	No. of balls	Total weight (gm)
3.68	43	7880
2.97	67	7847
2.54	10	511
1.90	71	2143
1.55	94	1744
		<u>20.125kg</u>

روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند

□ اصول اولیه:

- این آزمایش شامل یک سری آزمون‌های نرم‌کنی در آسیای آزمایشگاهی است. پس از هر مرحله آسیاکنی، موادی که اندازه آن‌ها از سرند کنترلی کمتر است، از کل مواد برداشته شده و به جای آن از خوراک جدید اضافه می‌شود.
- زمان خردایش طوری تنظیم می‌شود که میزان ذرات درشت (نسبت به سرند کنترلی) 2.5 برابر مقدار زیر سرند کنترلی شود (نسبت بار در گردش = 250%).
- با معلوم بودن اندیس کار، انرژی ویژه خردایش برای کاهش اندازه خوراک از یک بعد معین به اندازه محصول خاص از رابطه اصلی (تئوری سوم) تعیین می‌شود.
- سرند کنترلی معمولاً با توجه به درجه آزادی مورد نظر انتخاب می‌شود. معمولاً 75 و 150 میکرون بیشتر به کار گرفته می‌شود.
- تعداد دور آسیا به گونه‌ای با توجه به نتایج دور قبلی خردایش انتخاب می‌شود تا مقدار مواد عبوری از سرند کنترلی برابر $1/3.5$ کل مواد داخل آسیا گردد.
- قابلیت خردایش آسیای گلوله‌ای (G_{pp}) که به صورت مقدار محصول تولید شده برحسب گرم در هر دور آسیا تعریف می‌شود با متوسط‌گیری از سه آزمایش آخر بعد از رسیدن به حالت پایدار محاسبه می‌شود.

روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند

□ پس از دانه‌بندی محصول و بار در گردش با استفاده از رابطه زیر اندیس کار آسیای گلوله‌ای محاسبه می‌شود:

$$WI = \frac{49.1}{P_1^{0.23} G_{bp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)}$$

□ P_1 : سایز سرند کنترل معمولاً (75 μm) (200 mesh)

□ G_{bp} : وزن بخش ریز به دست آمده بر حسب گرم در هر دور آسیا

□ اختلاف دوره‌های تولید نرمه 0.05 باشد. (G_{bp} به اندازه 3 - 5 % تغییر کند)

□ در یک بار آزمایش چند گرم ماده (نرمه) تولید می‌شود که از سایز P_1 می‌گذرد.

روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند (Bond Ball Mill Work Index)

تعداد گلوله	ابعاد گلوله (inch)
43	1.45
67	1.17
10	1
71	0.75
94	0.61
285	وزن = 20.125 kg

تعداد گلوله	ابعاد گلوله (inch)
25	1.50
39	1.25
60	1
68	0.875
93	0.75
285	وزن = 20.125 kg



روش استاندارد آسیای گلوله‌ای باند

□ محدودیت‌های روش باند:

□ در این روش، انرژی لازم برای خردایش سنگ معدنی از یک اندازه معین (F_{80}) به اندازه

محصول خاص (P_{80}) در سه سیستم آزمایش ناپیوسته، آزمایش استاندارد باند سیکل بسته و

آسیاکنی پیوسته پایدار، یکسان فرض شده (قانون کلی) که به دلیل عدم یکسان بودن شکل

منحنی توزیع دانه‌بندی محصول آن‌ها، نمی‌تواند بسیار دقیق باشد. در حالتی که شکل منحنی

توزیع دانه بندی تغییر می‌کند، این رابطه نمی‌تواند دقیق باشد.

□ نیاز به داشتن یک آسیای خاص، مقدار نسبتاً زیاد نمونه (10 kg) و دستورالعمل زمان بر آن،

از دیگر محدودیت‌های این روش می‌باشد.

روش استاندارد آسیای میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)



The specification for the apparatus to determining a “Bond” rod mill work index is first described in Bond & Maxton (1943). It states that the apparatus is a tumbling rod mill to be operated in a locked cycle test at a fixed circulating load. The geometry of the grinding chamber is described as:

- mill inside diameter of 12 inches
- mill grinding chamber length of 22 inches (later revised to 24 inches in SME Mudd Series handbook)
- rods of two size classes, 21 inches long
- mill rotation speed of 46 revolutions per minute (approximately 60% of critical speed)
- a wave liner

روش استاندارد آسیای میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)



- ابعاد آسیا: 12 inch × 24 inch
- طول میله‌ها: 21 inch
- 6 میله به قطر 1.25 inch
- 2 میله به قطر 1.75 inch
- 33380 gr
- 46 rpm
- تن کوچک

$$WI = \frac{62}{P_1^{0.23} G_{rp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)}$$

تن متری

$$WI = \frac{68.4}{P_1^{0.23} G_{rp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)}$$



روش استاندارد آسیای میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work) (Index)

❑ شرایط آزمایش:

❑ خوراک: 1250 CC ذرات زیر 12.7 mm

❑ آسیاکنی: خشک با 100 درصد بار در گردش

❑ مشخصات آسیا: 0.305 m قطر و 0.610 m طول با آستر موجی

❑ سرعت آسیا: 46 rpm

❑ واسطه خردایش: 6 میله با قطر 31.8 mm و 2 میله با قطر 44.5 mm به طول 0.53 m

و به وزن کل 33.80 kg

❑ نحوه آزمایش:

❑ در آخر هر مرحله آسیاکنی محصول دانه‌بندی می‌شود و به مقدار ذرات زیر سرند کنترلی،

خوراک جدید اضافه می‌شود تا حجم اولیه 1250 CC حاصل شود.

❑ در مرحله بعد آسیاکنی، تعداد دور طوری تنظیم می‌شود تا بار در گردش برابر با وزن خوراک

جدید اضافه شده گردد. سیکل آسیاکنی ادامه داده می‌شود تا مقدار محصول تولیدشده بر هر

دور آسیا پایدار شود.

❑ مقدار تولید محصول بر هر دور آسیا (G_{rp}) که از آن به قابلیت آسیاکنی میله‌ای یاد می‌شود، از

متوسط سه سیکل آخر محاسبه می‌شود.

روش استاندارد آسیای میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

□ اندیس کار باند آسیای میله‌ای از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$WI = \frac{68.4}{P_1^{0.23} G_{rp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)}$$

□ که در آن P_1 اندازه سرند کنترلی بر حسب میکرون است (وزن بر حسب تن متریک 1000 کیلوگرمی می‌باشد).

□ P_1 معمولاً 100 - 150 μm در نظر گرفته می‌شود. اما برخی از مواقع می‌توان تا 40 μm نیز در نظر گرفت.

روش استاندارد آسیای میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

What Do the Bond Index Results Mean?

Soft = 7 – 9

Medium = 9 – 14

Hard = 14 – 20

Very Hard > 20

اندیس‌های استاندارد برای محاسبه انرژی

نکته:

- تئوری خردایش به ارتباط بین انرژی ورودی و ابعاد ذرات محصول بدست آمده از ابعاد معین خوراک مربوط می‌شود.
- اگر مواد نسبت به کاهش ابعاد همگن باشند، W_i آن‌ها برای همه مراحل خردایش ثابت خواهد ماند.
- در اغلب موارد ساختار سنگ هتروژن است. برای مثال مواد معین، یک ابعاد دانه طبیعی دارند و مقادیر W_i آن‌ها زیر آن ابعاد بزرگ‌تر از بالای آن است.
- یک ماده ممکن است یک ابعاد ذره غالب حاصل از برخی عمل‌های دانه‌بندی ترجیحی (با گلوله‌های خاصی) داشته باشد که توزیع ابعادی طبیعی را تغییر می‌دهد. گلوله‌های خردایش زیرابعادی می‌توانند این اثر را داشته باشند.
- تعیین آزمایشگاهی اندیس کار، مقاومت به شکست را در محدوده ابعادی تست شده نشان می‌دهد و هر تغییر در مقادیر W_i در تست‌ها در ابعاد محصول مختلف، نشان می‌دهد که مواد نسبت به کاهش ابعاد همگن نیستند. به همین دلیل تست‌های آزمایشگاهی باید ترجیحاً در خود یا نزدیکی ابعاد محصول موردنیاز در خردایش تجاری انجام گیرند.

اندیس‌های استاندارد برای محاسبه انرژی

- اندیس کار عملیاتی: از کاهش ابعاد در کارخانه‌های تجاری محاسبه می‌شود.
- برای مقایسه بازدهی کارخانه با نتایج تست آزمایشگاهی،
- بازدهی‌های مراحل کاهش ابعاد در کارخانه‌های مختلف،
- یا بازدهی‌های کارخانه‌های مختلف با مواد مشابه استفاده می‌شود.
- اندیس کار بویژه در پیش‌بینی ابعاد و ظرفیت تأسیسات جدید ارزشمند است.

آزمایش آسیای استاندارد میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

❑ اندیس کار آسیای میله‌ای باند:

❑ برای محاسبه توان دریافتی مورد نیاز یک آسیای میله‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

❑ اطلاعات دقیق‌تری از انرژی خردایش مورد نیاز ارائه می‌کند. در محاسبه انرژی نهایی مورد نیاز

با استفاده از روش باند، RWI برای ابعاد محصول سنگ‌شکنی ثانویه مانند 25 میلی‌متر تا 2100 میکرون استفاده می‌شود.

❑ اندیس کار آسیای گلوله‌ای باند از 2100 میکرون تا ابعاد ریزتر به کار می‌رود.

❑ RWI مشاهدات بیشتری از رفتار کانسنگ در ابعاد درشت‌تر ذرات ارائه می‌کند.

❑ کانسنگی با یک RWI بسیار بیشتر از BWI تمایل به شایسته‌تر بودن (محکمی)

(competency) در ابعاد ذرات درشت‌تر را نشان می‌دهد و می‌تواند در خردایش SAG به

عنوان واسطه آسیاکنی (به جای گلوله) مورد استفاده قرار گیرد.

آزمایش آسیای استاندارد میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

- برای تست BRMWI، ابعاد سرند کلوزینگ (closing) 1180 میکرون است.
- ابعاد سرند کلوزینگ باید طوری انتخاب شود که P_{80} تست تا جایی که ممکن است به P_{80} مورد انتظار از مدار تحت طراحی نزدیک باشد.
- در طراحی و بهینه‌سازی یک مدار آسیاکنی با استفاده از BRMWI، معادلات زیر استفاده می‌شوند:

$$W = 10W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

$P = T * W$

- W = کار ورودی (kWh/t)
- P = توان دریافتی (kW)
- T = ظرفیت خوراک جدید (t/h)
- W_i = اندیس کار (kWh/short ton)
- F_{80} = ابعاد 80% عبوری خوراک (μm)
- P_{80} = ابعاد 80% عبوری محصول (μm)

آزمایش آسیای استاندارد میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

بر اساس این معادله می‌توان موارد زیر را تعیین کرد:

انرژی ویژه مورد نیاز برای خردایش، BRMWI،

ابعاد خوراک و

ابعاد محصول موردنیاز

سپس انرژی موردنیاز بر اساس ظرفیت و

بنابراین توان موتور.

شرایط انجام تست:

در مدار بسته

بار در گردش 100%

آسیای میله‌ای کج شونده با قطر 12 اینچ در 24 اینچ با لاینر موجی شکل

(305 در 610 میلی‌متر)

سرعت 46 دور بر دقیقه

خردایش خشک

شارژ خردایش شامل:

6 میله فولادی با قطر 1.25 اینچ و 2 میله فولادی با قطر 1.75 اینچ

طول میله‌ها 21 اینچ و وزن کلی 33380 گرم

آزمایش آسیای استاندارد میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

❑ مراحل انجام تست:

❑ خردایش 12 کیلوگرم خوراک به 100% زیر 0.5 اینچ (12.5 میلی متر بطور مرحله‌ای)

❑ تعیین وزن 1250 سی‌سی از خوراک بسته‌بندی در یک استوانه درجه‌بندی شده

❑ آنالیز سرندي نمونه

➤ محصول روی یک سرندي کلوزینگ که نزدیک به ابعاد محصول آسیای میله‌ای طراحی انتخاب می‌شود، دانه‌بندی می‌شود.

➤ این سرندي در محدوده 4700-208+ میکرون و به طور معمول 2100 میکرون خواهد بود.

❑ برای تعادل افتراق در انتهای آسیا، ابتدا آسیا 8 دور در افق می‌چرخد.

❑ سپس 5 درجه به سمت بالا کج شده و یک دور می‌چرخد.

❑ دور بعدی زمانی انجام می‌شود که آسیا 5 درجه به سمت پایین کج شده است. این عمل بطور پیوسته ادامه می‌یابد.

❑ تست‌ها در همه مش‌ها از 4 تا 64 مش قابل انجام است.

❑ در انتهای هر دوره خردایش پس از 30 دور چرخش، آسیا 45 درجه به سمت پایین کج می‌شود تا مواد تخلیه گردد.

❑ محصول روی سرندي‌های تست سرندي می‌شود.

آزمایش آسیای استاندارد میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

- سرندها زیر ابعاد وزن می‌شود و خوراک تازه تفکیک نشده به رو سرندها اضافه می‌شود تا وزن کلی آن مساوی با وزن کلی 1250 سی سی اصلی شارژ شده به آسیا شود.
- این مواد به آسیا افزوده و با تعداد گردش محاسبه شده‌ای خرد می‌شود تا بار در گردش مساوی وزن خوراک جدید اضافه شده ارائه کند.
- سیکل‌های خردایش ادامه می‌یابند تا مقدار گرم‌های خالص زیر سرندها تولید شده در هر دور به حالت تعادل درآید و مسیر آن به سمت افزایش یا کاهش برگردد.
- سپس محصول زیر سرندها و بار در گردش آنالیز سرندها می‌شود.
- میانگین سه تست و گرم‌های خالص بر هر دور (Grp)، قابلیت خردایش آسیای میله‌ای است.
- F ابعاد خوراک بر حسب میکرون است که 80% عبوری خوراک جدید آسیای میله‌ای است.
- P_1 دهانه ابعاد سرندها تست بر حسب میکرون است. اندیس کار آسیای میله‌ای W_i از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = 62 / (P_1)^{0.23} \times (Grp)^{0.625} \times \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)$$

آزمایش آسیای استاندارد میله‌ای باند (Bond Rod Mill Work Index)

- این مقدار W_i باید با توان خروجی موتور به یک آسیای میله‌ای سرریزی میانگین با قطر داخلی 8 فوت در مدار باز و با خردایش تر مطابقت داده شود.
- برای خردایش خشک، کار ورودی باید در 1.30 ضرب شود.
- هرگاه D قطر داخل لاینر آسیا بر حسب فوت باشد، کار ورودی باید در $(D/8)^{0.26}$ ضرب شود.
- اندیس کار آسیای میله‌ای در P معادل 1000 میکرون (W_{i1000}) از اندیس کار آسیای میله‌ای W_{ip} در هر ابعاد تست شده محصول P با مقادیر Erf و Erp به صورت زیر یافت می‌شود:

$$W_{i1000} = W_{ip} + (1000 - P)(0.0060 - 0.0055 Erf / Erp)$$

- اندیس کار محاسباتی W_{ip} برای هر ابعاد محصول دلخواه P با استفاده از معادله فوق بدست می‌آید.

نسبت آشکار شدن (در معرض نمایش قرار گرفتن) (Exposure ratio)

□ The work index values from rod mill grindability tests are corrected for exposure ratio variations to 80% passing 1000 microns by the following equation:

$$\square W_{i1000} = W_{ip} + (1000 - P)(0.0060 - 0.0055 \text{ Erf/Erp})$$

□ and the rod mill grindability work index at any product size P is found from:

$$\square W_{ip} = W_{i1000} - (1000 - P)(0.0060 - 0.0055 \text{ Erf/Erp})$$

□ Erf = Exposure ratio of the feed

□ Erp = Exposure ratio of the product

<https://www.911metallurgist.com/blog/bond-work-index-formula-equation#work-index-and-crack-energy>

نسبت آشکار شدن (در معرض نمایش قرار گرفتن) (Exposure ratio)

- The exposure ratio E_r is the quantity that expresses the line trend, or the fine size distribution.
- When the exposure ratio E_r is zero only one particle size is present and there has been no exposure of fines to the grinding media.
- The fines present increase as E_r increases.
- The exposure ratio of the feed is E_{rf} and that of the product is E_{rp} .

نسبت آشکار شدن (در معرض نمایش قرار گرفتن) (Exposure ratio)

The work index should theoretically be proportional to $(C_{rp} - C_{rf}) \sqrt{P/Y}^n$ where Y is the percent weight of the feed retained on the mesh size tested. From this relationship

$$W_i = K (C_{rp} - C_{rf}) \sqrt{P/Y}^{1.67} \dots \dots \dots (7)$$

the exponent n was determined empirically to be 1.67, or 5/3, and K is the proportionality constant for each ore.

However, an equation is desired which uses the exposure ratios and does not require calculation of the crack lengths, Eq. (8) was derived to give the work index W_i at any 80% passing product size P from the work index W_{io} found from a single grindability test with a product size P_o and exposure ratios E_{rf} and E_{rp} . It is

$$W_i = W_{io} + (P - P_o) (.018 - .014 E_{rf}/E_{rp}) \dots \dots \dots (8)$$

Cr: the new crack length

نسبت آشکار شدن (در معرض نمایش قرار گرفتن)
(Exposure ratio)

- ❑ The **exposure ratio** of the prepared minus 6 mesh feed E_{rf} is regularly somewhat larger than that of the closed circuit product E_{rp} , and Eq. (8) indicates that when E_{rf}/E_{rp} equals 1.29 the work index continues constant at all product sizes.
- ❑ When E_{rf}/E_{rp} is greater than 1.29, the work index increases as the product size decreases, and when E_{rf}/E_{rp} is less than 1.29 the work index decreases.

نسبت آشکار شدن (در معرض نمایش قرار گرفتن) (Exposure ratio)

Eq. (8) suggests that a standard work index Wi_{100} , or the work index at 80% passing 100 microns calculated from the exposure ratios, can be found from the following Eq. (9):

$$Wi_{100} = Wi_0 + (100 - P_0) (.018 - .014 Erf/Erp) \dots \dots \dots (9)$$

Then the work index Wip at any 80% passing size P can be found from

$$Wip = Wi_{100} + (p - 100) (.018 - .014 Erf/Erp) \dots \dots \dots (10)$$

When Wi_{100} is calculated by Eq. (9) from the data at 48 mesh for each of the 15 ores listed, then Wip found by Eq. (10) for each of these ores at 28, 35, 65, and 100 mesh is essentially the same as the Wi value found from Eq. (8).

Ball mill

نسبت آشکار شدن (در معرض نمایش قرار گرفتن) (Exposure ratio)

The work index values from rod mill grindability tests are corrected for exposure ratio variations to 80% passing 1000 microns by the following equation:

$$Wi_{1000} = Wi_P + (1000 - P)(.0060 - .0055 \text{ Erf/Erp}) \dots \dots \dots (11)$$

and the rod mill grindability work index at any product size P is found from:

$$Wi_P = Wi_{1000} - (1000 - P)(.0060 - .0055 \text{ Erf/Erp}) \dots \dots \dots (12)$$

When Wi_P and Wi_F have been calculated for the desired ball or rod mill product size P and feed size F

Rod mill

تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

- این اندیس در سال 1940 توسط باند توسعه داده شد و سایندهای یک کانسنگ را معرفی می‌کند.
- اندیس سایش برای تعیین فرسایش واسطه فولادی و لاینر در سنگ‌شکن‌ها، آسیاهای میله‌ای و آسیاهای گلوله‌ای استفاده شود.
- تست اندیس سایش توسط Allis-Chalmers با استفاده از یک روش و دستگاه مورد استفاده توسط بخش سنگ‌شکنی شرکت آهن پنیسلوانیا توسعه داده شد.
- دستگاه شامل یک استوانه گردان است.
- تکه‌های خشک کانسنگ روی یک پدال ضربه‌ای سوار شده روی یک شفت مرکزی گردان در سرعت بالاتر نسبت به استوانه قرار می‌گیرند.
- پدال از یک فولاد آلیاژی استاندارد با سختی 500 برینل (Brinell) ساخته شده است. این پدال با وزن استاندارد برای تست و همراه محفظه است.
- اندیس سایش از کاهش وزن پدال تحت شرایط عملیاتی استاندارد تعیین می‌شود.

تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

- تست روی 1.6 کیلوگرم از مواد $12.7 - 19 \text{ mm}$ (+1/2 in - 3/4 in) انجام می شود (که معمولاً توسط سنگ شکنی 5 کیلوگرم از کانسنگ زیر 19 میلی متر می تواند بدست آید).
- یا 10 کیلوگرم نمونه نماینده کانسنگ با ابعاد $38-55 \text{ mm}$ نیاز است.
- این مواد به طور مرحله ای به 19 mm سنگ شکنی می شوند و در 12.7 mm سرند می شوند و 4 زیر نمونه 400 گرمی در این مرحله استخراج می شود.
- از نمونه در محدوده دانه بندی $12.7 - 19.0 \text{ mm}$ میلی متر استفاده می شود.
- پدال توسط چرخش در تماس با نمونه کانسنگ برای 15 دقیقه در 632 rpm ساییده می شود.
- این روش 4 بار تکرار و در پایان وزن پدال دوباره اندازه گیری می شود. اتلاف وزن بر حسب گرم اندیس سایش است.

تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

- اندیس سایش باند از مقدار کم 0.026 برای سنگ آهک تا 0.18 برای کوارتز و 0.25 برای مگنتیت تا 0.69 برای تاکونیت تغییر می کند.
- A_i بیش از 1 در صنعت طلا با عمر سایش سنگ شکن کمتر از 3 هفته تجربه شده است.



تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

- میزان سایش فلزات (گلوله و آستر) که سهم عمده‌ای در هزینه‌های عملیات خردایش دارد با آزمایش سایش انجام شده و به صورت گرم فلز مصرفی بر کیلووات ساعت بیان می‌شود.
- این نوع بیان سایش، امکان مقایسه مستقیم بین ماشین‌های مختلف، خوراک و محصولات با اندازه مختلف و مواد با قابلیت آسیاکنی مختلف را فراهم می‌کند.
- مصرف فلز به صورت سایش، حل شدن و همچنین قلوه‌کن شدن اتفاق می‌افتد.
- در این آزمایش یک صفحه (پدال تخت) با ابعاد $(3 \times 1 \times 0.25 \text{ in})$ $8.62 \times 2.54 \times 0.64 \text{ cm}$ از فلز مورد آزمایش (به عنوان مثال فولاد، کروم، نیکل و مولیبدن) به میزان (1 in) 2.54 cm در شکاف پره‌ای (روتور) با قطر 11.4 cm (4.5 in) که با سرعت 632 rpm می‌چرخد، قرار داده می‌شود.

تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

- این بخش (روتور) در محفظه استوانه‌ای از مواد معدنی با قطر 30.5 cm (12 in) و عمق (طول) 11.4 cm (4.5 in) قرار داده می‌شود که خود با سرعت 74 rpm (یا 70 rpm) (90 درصد سرعت بحرانی) هم جهت با پدال می‌چرخد.
- چهار نمونه از خوراک در اندازه $1.27 \text{ cm} + 1.90$ به وزن 400 گرم بعد از 15 دقیقه از محفظه خارج شده و نمونه بعدی قرار داده می‌شود.
- بعد از 60 دقیقه (4 نمونه) کاهش وزن صفحه فلزی که با دقت 0.0001 گرم اندازه‌گیری می‌شود، شاخص سایش (A_i) مواد می‌باشد.
- وزن کردن پدال با دقت 0.0001 gr انجام می‌شود.

تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

□ نرخ سایش:

□ بر اساس مقدار A_i محاسبه شده برای مواد مورد آزمایش، پارامتری به نام نرخ سایش

(Abrasion Rate) تعریف می شود که برابر است با: نسبت مقدار فلز ساییده شده

بر حسب پوند به کیلو وات ساعت انرژی مصرفی برای سنگ شکنی یا آسیا.

□ مدل هایی برای رابطه اندیس سایش و نرخ سایش برای هر نوع آسیا تعریف شده است. در این

مدل ها حداقل اندیس سایش 0.021 می باشد.

□ مقدار نرخ سایش میله در آسیای میله ای تر:

$$A.R. = 0.35 (A_i - 0.020)^{0.2}$$

□ مقدار نرخ سایش لاینر در آسیای میله ای تر:

$$A.R. = 0.35 (A_i - 0.015)^{0.3}$$

تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

□ نرخ سایش:

□ مقدار نرخ سایش گلوله در آسیای گلوله‌ای تر:

$$A.R. = 0.35 (A_i - 0.015)^{0.33}$$

□ مقدار نرخ سایش لاینر در آسیای گلوله‌ای تر:

$$A.R. = 0.026 (A_i - 0.015)^{0.3}$$

□ مقدار نرخ سایش گلوله در آسیای گلوله‌ای خشک:

$$A.R. = 0.05 (A_i)^{0.5}$$

□ مقدار نرخ سایش لاینر در آسیای گلوله‌ای خشک:

$$A.R. = 0.005 (A_i)^{0.5}$$

تست سایش باند (اندیس سایش) تست اندیس سایش (Abrasion Index Test)

□ نرخ سایش:

□ مقدار نرخ سایش لاینر در سنگ شکن‌ها (فکی، ژیراتوری، و مخروطی):

$$A.R. = \frac{(Ai + 0.22)}{11}$$

□ مقدار نرخ سایش در سنگ شکن غلتکی:

$$A.R. = (0.1 Ai)^{0.667}$$

اندیس هاردگرو (Hardgrove Index) Hardgrove Grindability Index (HGI)

Hardgrove Grindability Tester □

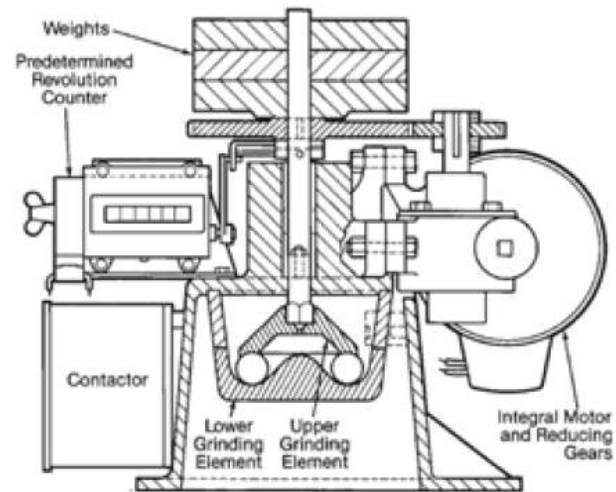
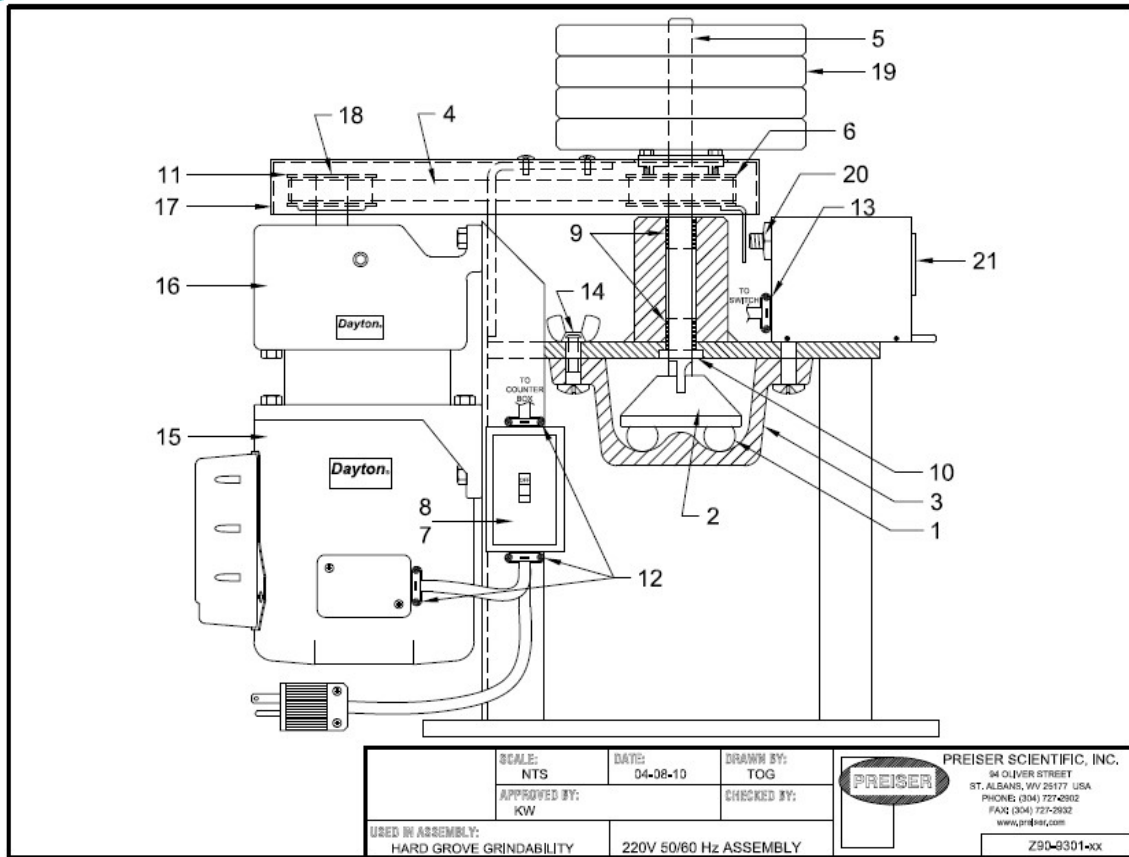


FIGURE 1 Cross section of HGI test apparatus.

انڈیس ہارڈ گرو (Hardgrove Index)



اندیس ہارڈ گرو (Hardgrove Index)

Description	Diagram Number	Description	Diagram Number
Grindability Ball Set, 1" (8)	1	1/2" Straight Connector	12
Upper Grinding Element	2	90° 1/2" Connector	13
Lower Grinding Element	3	Bolt and Wing Nut (2)	14
Timing Belt 230V	4	Motor 230V 50Hz	15
Shaft	5	Motor 230V 50Hz	15
Driven Pulley with Trip Arm	6	Gear Reducer 230V	16
On/Off Switch	7	Belt Guard 230V	17
Thermal Overload 6.2 230V	8	Bushing, Tapered 1" 230V	18
Brass Bushing (2)	9	Weight (4)	19
Grease Seal	10	Proximity Sensor	20
Drive Pulley for 230V/115V 60Hz	11	Counter	21
Drive Pulley for 230V 50Hz	11		

اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)

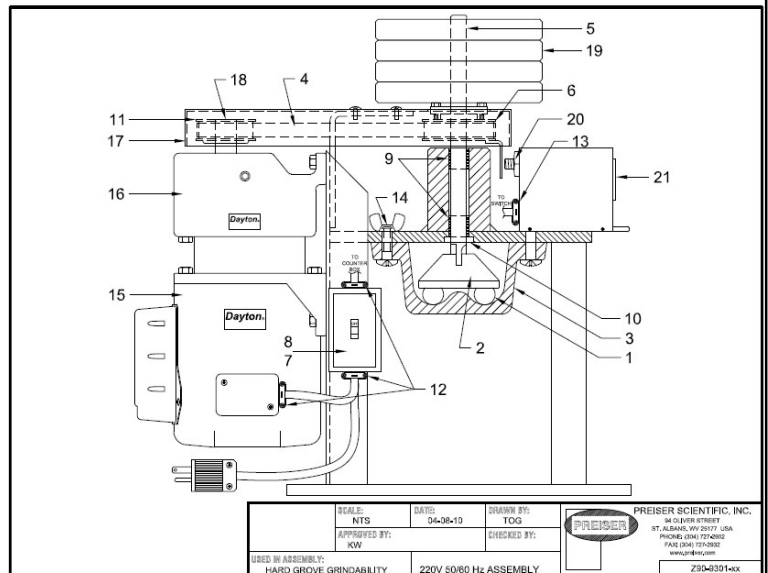



(Hardgrove Index) اندیس ہاردگرو

- ❑ RALPH M. HARDGROVE received his BME (Bachelor of Science in Biomedical Engineering) degree in 1914, and was awarded the Benjamin G. Lamme Medal in 1955.
- ❑ Mr. Hardgrove had numerous inventions including inventions of the cyclone furnace, the Pebble heater and the Cascade furnace.
- ❑ He is an authority on fuel burners and furnaces. During his professional career with The Babcock and Wilcox Company **he published more than twenty technical papers and obtained 98 patents.**

انڈیس ہارڈ گرو (Hardgrove) (Index)

Part No:	Description	Diagram Number
Z90-9300-03	Grindability Ball Set, 1" (8)	1
90-9300-04	Upper Grinding Element	2
Z90-9300-05	Lower Grinding Element	3
Z90-9300-07	Timing Belt 230V	4
Z90-9300-12	Shaft	5
Z90-9300-14	Driven Pulley with Trip Arm	6
Z90-9300-16	On/Off Switch	7
Z90-9300-17	Thermal Overload 6.2 230V	8
Z90-9300-18	Brass Bushing (2)	9
Z90-9300-19	Grease Seal	10
Z90-9300-13	Drive Pulley for 230V/115V 60Hz	11
Z90-9300-23	Drive Pulley for 230V 50Hz	11
Z90-9300-26	1/2" Straight Connector	12
Z90-9300-27	90° 1/2" Connector	13
Z90-9300-28	Bolt and Wing Nut (2)	14
Z90-9300-36	Motor 230V 50Hz	15
Z90-9300-30	Motor 230V 50Hz	15
Z90-9300-31	Gear Reducer 230V	16
Z90-9300-32	Belt Guard 230V	17
Z90-9300-34	Bushing, Tapered 1" 230V	18
Z90-9300-37	Weight (4)	19
Z90-9300-38	Proximity Sensor	20
Z90-9300-39	Counter	21
Z90-9300-09	Timing Belt 115V	22
Z90-9300-15	Bushing, Tapered 3/4" 115V	24
Z90-9300-25	Thermal Overload 11.0	25
Z90-9300-29	115V Motor w/ Speed Reducer	26
Z90-9300-35	Belt Guard 115V	27



SCALE:	NTS	DATE:	04-08-10	DRAWN BY:	TOG	 PREISER SCIENTIFIC, INC. 94 OLIVER STREET ST. ALBANS, WV 26177 USA PHONE (304) 375-2822 FAX (304) 375-2822 WWW.PREISER.COM
APPROVED BY:	KW	CHECKED BY:				
USED BY ASSEMBLY:		HARD GROVE GRINDABILITY		220V 50/60 Hz ASSEMBLY		Z90-9301-xx

اندیس هارد گرو (Hardgrove Index)

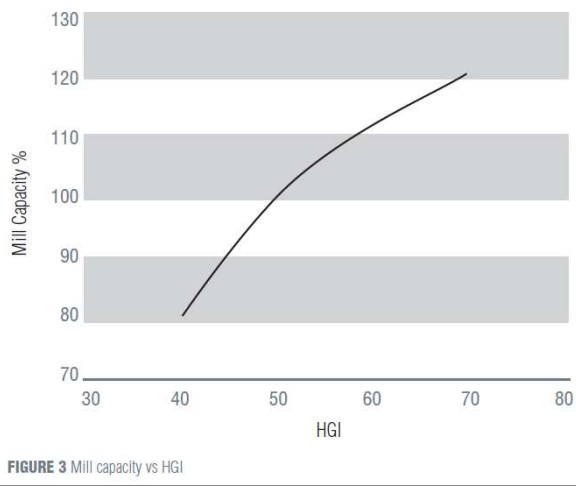


FIGURE 3 Mill capacity vs HGI

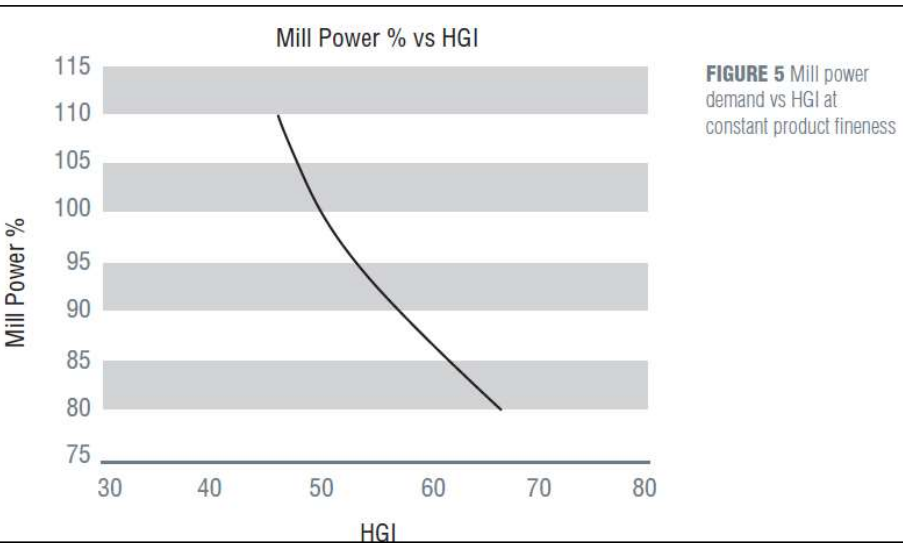
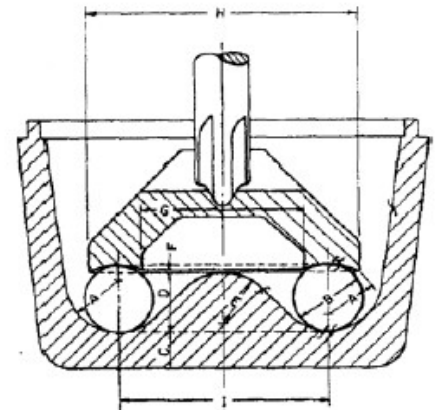


FIGURE 5 Mill power demand vs HGI at constant product fineness



اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)



FIGURE 2 Typical HGI Commercial Test Equipment.



HGI Test Unit. Image courtesy of Wallerby Mining Products

- ❑ HGI is named after Ralph M. Hardgrove (born 1891 in Massillon, Ohio, died October 29, 1978 in Jacksonville, Florida), who developed this procedure in the 1930s for the company Babcock & Wilcox in the USA.
- ❑ The procedure is generally accepted and standardized by ASTM-Standard D409, DIN 51742 and ISO 5074.

اندیس ہارڈ گرو (Hardgrove Index)

ASTM = American Society for Testing and Materials

DIN is short for *Deutsches Institut für Normung eV*, the standards - setting organization for Germany.

ISO. Stands for "International Organization for Standardization." Yes, technically the **acronym** should be "IOFS," but I guess **ISO** sounds better.

<https://www.astm.org/Standards/D409.htm>

<https://www.din.de/en/about-standards/din-standards>

https://www.techstreet.com/standards/din-51742?product_id=1051764

<https://www.iso.org/standard/63236.html>



اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)

- اولین بار در سال 1929 توسط رالف هاردگرو (Ralph Hardgrove) معرفی شد.
- یکی از متداول ترین روش های تعیین قابلیت نرم شوندگی زغال سنگ و بویژه موادی است که به جز آسیاهای گردان نرم می شوند (مانند آسیاهای غلتکی).

اساس روش:

- تعیین ذرات ریزتر از 75 میکرون
- در حالت کلی نمونه 50 گرمی از زغال سنگ، که با روش خاصی آماده گردیده است و دامنه ذرات محدودی (0.6-1.18 mm) دارد، در یک ظرف آسیای غیرمتحرک ریخته می شود.
- این ظرف هشت گلوله فولادی دارد که در مسیر دایره ای حرکت می کنند. یک حلقه بارگذاری در بالای گلوله ها قرار می گیرد که وزنی برابر با 284 نیوتن دارد.
- حین انجام آزمایش دستگاه به میزان 60 دور می چرخد. پس از برداشتن حلقه بارگذاری زغال سنگ موجود بازیابی می گردد. این زغال سنگ دانه بندی می شود و وزن مقدار عبور کرده از سرنده 75 میکرون تعیین می گردد.
- این مقدار با استفاده از یک نمودار کالیبراسیون به یک مقدار HGI برگردانده می شود.

اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)

□ نتایج آزمایش HGI معمولاً بین مقادیر 30 تا 100 در نوسان است. مقادیر بزرگ بیانگر زغال سنگ نرم تر می باشد و در نتیجه آسیایی که از این زغال سنگ استفاده می کند تولید بالایی خواهد داشت.

□ HGI را می توان با استفاده از روابط زیر نیز محاسبه کرد:

$$HGI = 13.6 + 6.93 W$$

$$HGI = 359.5 - 6.93 W_1$$

□ که در آن:

□ W = وزن مواد عبور کرده از سرنده 75 میکرون

□ W_1 = وزن مواد باقیمانده روی سرنده 75 میکرون

□ این روابط نشان می دهند هنگامی که مقاومت در مقابل خردایش کاهش می یابد، مقدار HGI افزایش خواهد یافت.

□ $HGI > 70$ بیانگر زغال سنگ نرم، HGI بین 70 - 50 بیانگر زغال سنگ متوسط و HGI بین 30 - 50 نشانگر زغال سنگ سخت می باشد.

اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)

- کوشش‌های بسیاری صورت گرفته تا بتوان رابطه و نسبت میان HGI با ویژگی‌های مختلف زغال‌سنگ نظیر عناصر تشکیل‌دهنده آن، مقدار انرژی گرمایی، آنالیز تقریبی و خصوصیات دیگر را تعیین کرد.
- هیچ‌یک از این کوشش‌ها به نتایج رضایت‌بخشی نرسیدند، زیرا زغال‌سنگ ماده‌ای بسیار پیچیده می‌باشد. البته اثبات شده است که تقریباً می‌توان تمام ویژگی‌های آن را با یک آنالیز تقریبی، همبسته نمود.

درصد رطوبت: M

درصد خاکستر: A

درصد مواد فرار: VM

درصد کربن ثابت: FC

- ضریب همبستگی این رابطه برابر 0.93 است. انحراف معیار حاصل برابر 3 واحد و حداکثر انحراف 5 واحد می‌باشد.

$SGI =$ شاخص خردایش‌پذیری آماری = Statistical Grindability Index

SGI

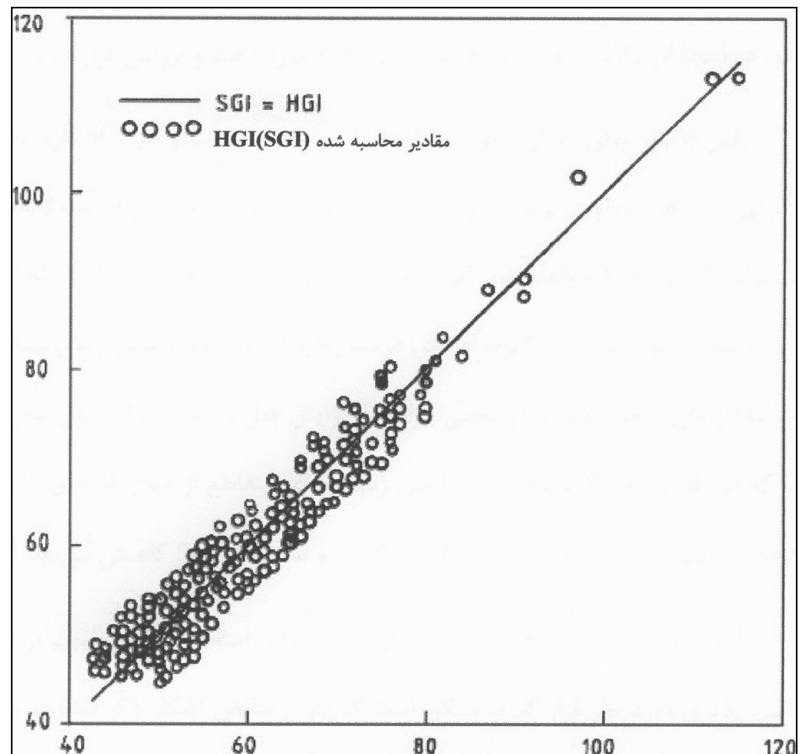
$$= 93.25 + M(0.25 + 0.196M) + 3A(1.097 - 0.009A)$$

$$- 3VM(1.165 - 0.029VM) - 5FC(1.103 - 0.0166FC)$$

اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)

رابطه HGI با آنالیز زغال سنگ (شاخص خریدایش پذیری آماری)

- افزایش رطوبت، افزایش SGI،
افزایش HGI
- افزایش خاکستر، افزایش SGI،
افزایش HGI
- افزایش درصد مواد فرار، کاهش
SGI، کاهش HGI، افزایش
سختی زغال سنگ
- افزایش درصد کربن ثابت، کاهش
SGI، کاهش HGI، افزایش
سختی زغال سنگ



اندیس هاردگرو (Hardgrove Index)

□ رابطه بین اندیس هاردگرو و اندیس کار آسیای گلوله‌ای باند:

$$W_i = \frac{88}{HGI^{0.5}}$$

Bond, 1954

$$W_i = \frac{435}{HGI^{0.91}}$$

Bond, 1961

50 < HGI < 70

$$W_i = \frac{1622}{HGI^{1.08}}$$

McIntyre and Plitt, 1980 (Wi > 8.5)

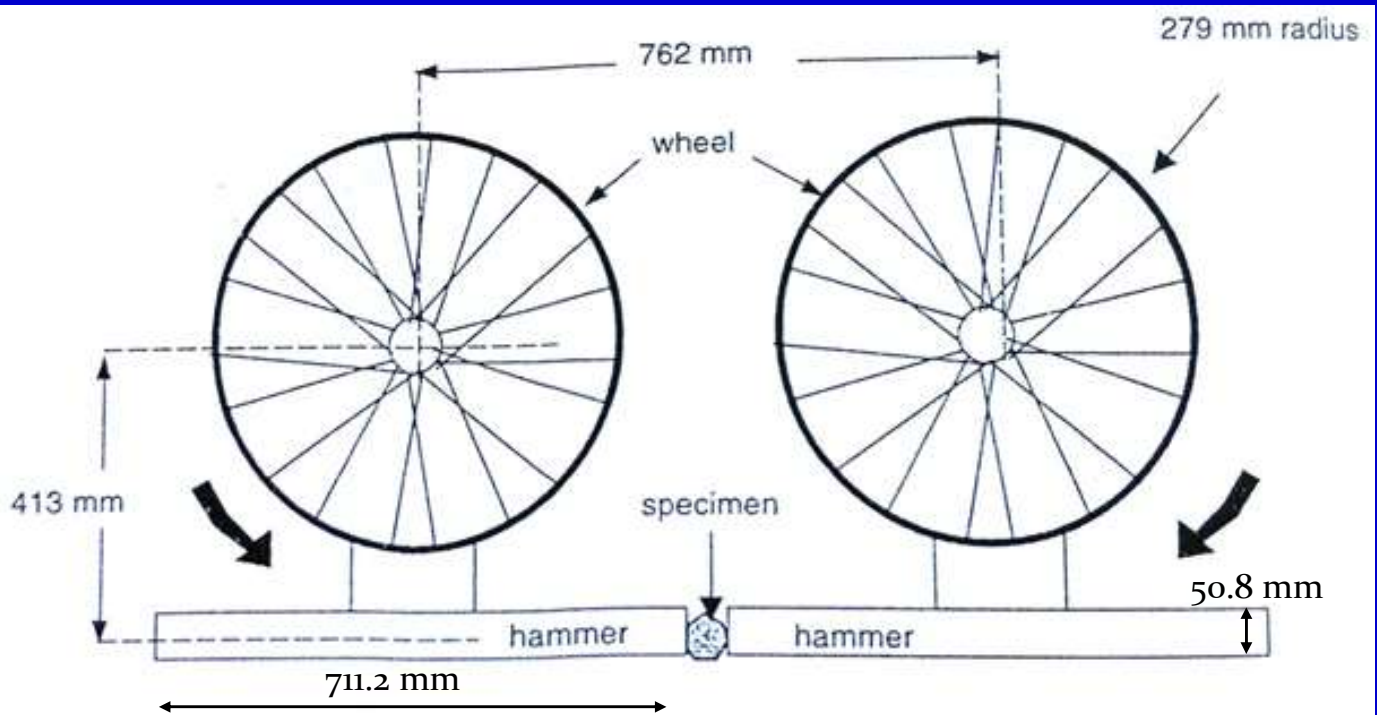
$$W_i = 14.56 - 0.1 HGI$$

Hower et al., 1992.

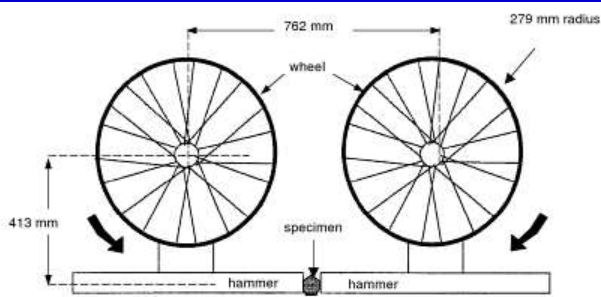
تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)

- این تست برای تعیین اندیس کار سنگ شکنی یک کانسنگ برای استفاده در محاسبه توان مورد نیاز برای سنگ شکنی اولیه به کار می‌رود.
- در این تست 20 نمونه نماینده از سنگ در محدوده ابعادی 50-76 میلی‌متر تحت ضربه پاندول دو قلو (چکش دو قلو) (آونگ دو قلو) شکسته می‌شوند.
- این قطعه‌های سنگ شکسته شده که هر کدام از سرند 3 in^2 عبور می‌کنند و روی سرند 2 in^2 باقی می‌مانند بین دو وزنه مخالف یکسان با وزن 30 پوند (13.62 kg) قرار داده می‌شوند (وزنه‌ها روی چرخ‌ها نوسان می‌کنند).
- هنگامی که چرخ‌ها رها می‌شوند، وزنه‌ها به طور همزمان روی وجه‌های مخالف کوچک‌ترین بعد سنگ اصابت می‌کنند.

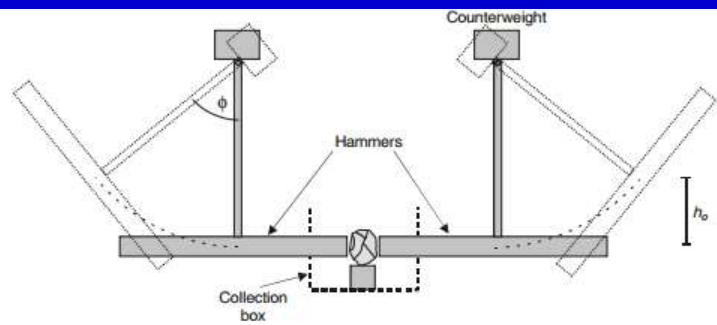
تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای)
(Impact crushing test) (Crushability test)



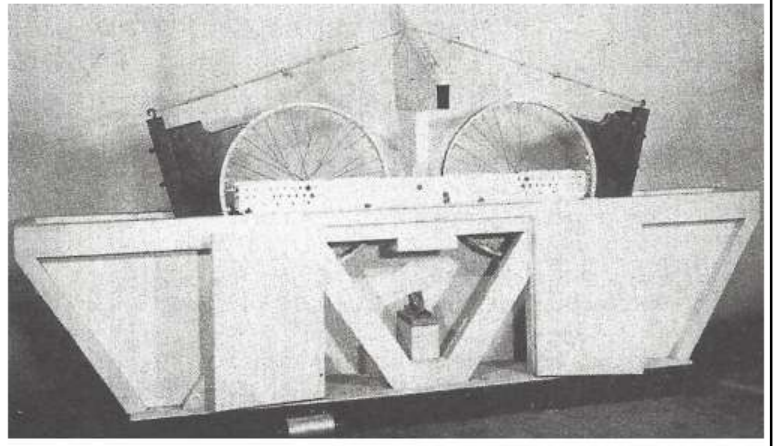
تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)



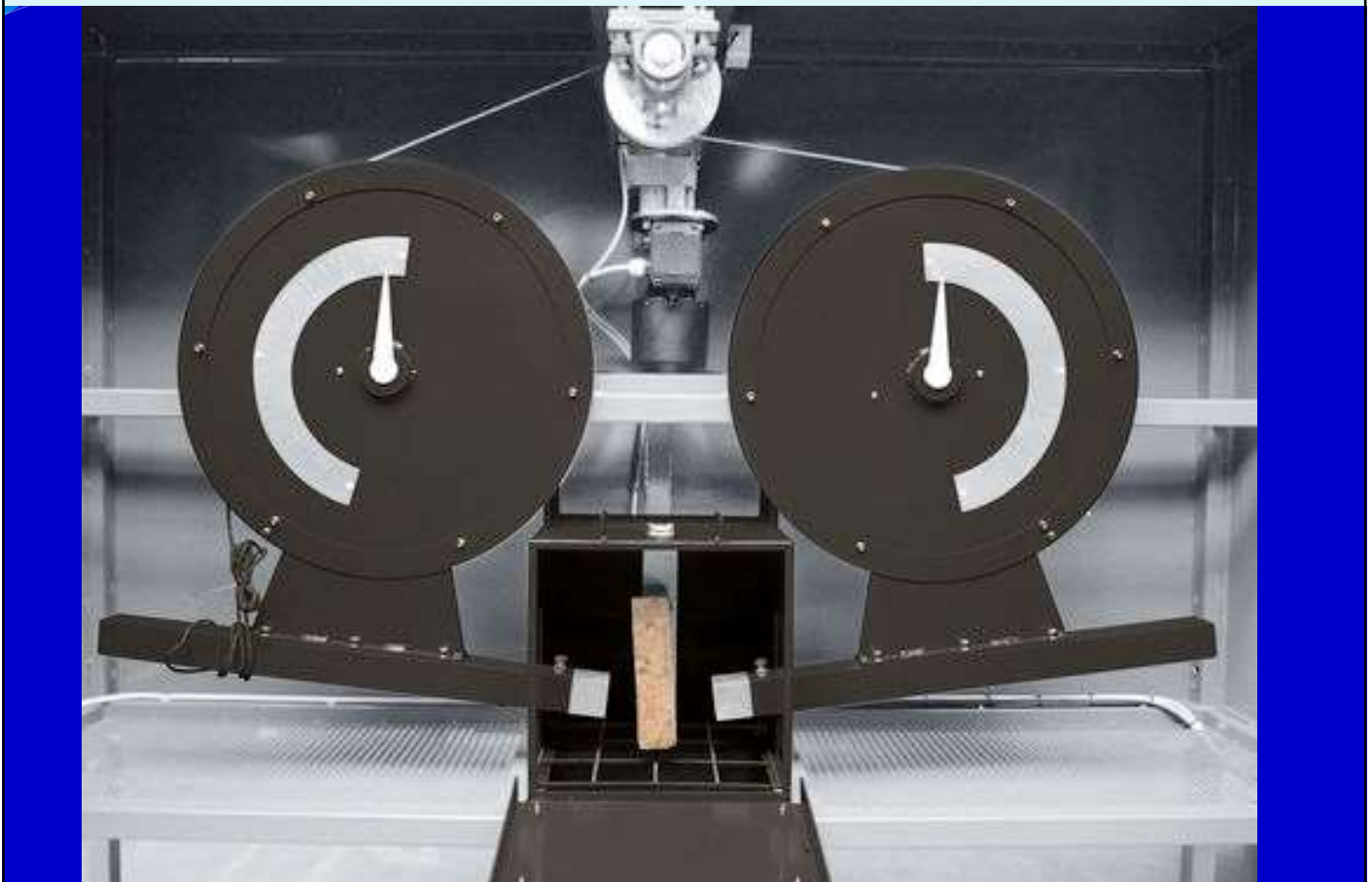
Bond's Impact Test at the point of impact with the specimen



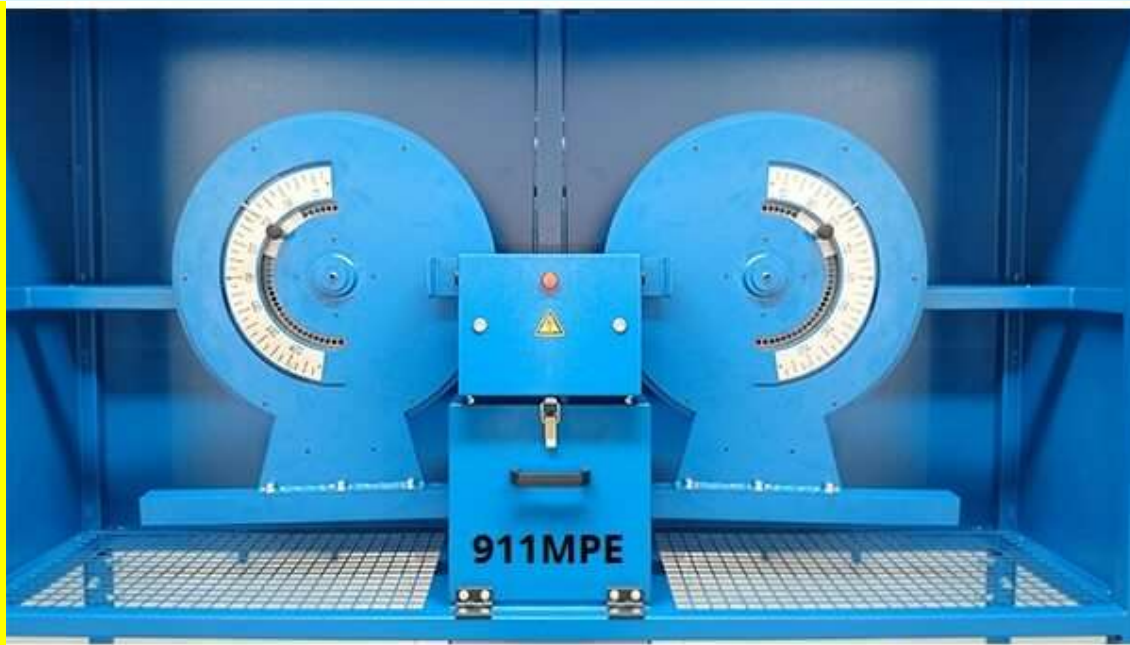
Schematics of the pendulum device.



تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای)
(Impact crushing test) (Crushability test)



تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای)
(Impact crushing test) (Crushability test)



IMPACT TESTER

تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای)
(Impact crushing test) (Crushability test)



تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)

- انرژی ورودی (ارتفاع سقوط) به طور متوالی افزایش داده می‌شود تا اینکه سنگ بشکند.
- ابعاد ذره کانسنگ قبل و بعد از تست بررسی و مقدار کاهش ابعادی رخ داده طی تست به یک عدد اندیس سنگ شکنی و درجه شکست بر اثر ضربه ارتباط داده می‌شود.
- اندیس کار از انرژی موردنیاز برای شکاف سنگ، ضخامت سنگ و وزن مخصوص آن محاسبه می‌شود.
- مقاومت سنگ شکنی ضربه‌ای (C) بر حسب فوت-پوند بر اینچ (ft.lb/in) ضخامت سنگ و وزن مخصوص (sg) است.
- اندیس کار از میانگین 10 شکست بدست می‌آید:

$$W_i = 2.59 C / sg$$

تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)

□ انرژی سنگ شکنی باند E_b به یک ثابت برای دستگاه و زاویه‌ای که آونگ‌های دو قلو سقوط می‌کنند، ارتباط داده می‌شود.

$$E_b = K(1 - \cos\alpha)$$

$$CWI = \left(\frac{2.59 \times 1.1 \times E_b}{d \times sg} \right) \frac{kWh}{t}$$

□ E_b = انرژی سنگ شکنی باند برای یک سنگ منحصر به فرد

□ $K = 82$ ، یک ثابت α = زاویه‌ای که آونگ می‌افتد

□ sg = وزن مخصوص سنگ d = ضخامت نمونه سنگ

تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)

- این اندیس شایستگی کانسنگ را در ابعاد ذرات درشت‌تر توصیف می‌کند.
- برای محاسبه توان سنگ‌شکنی واقعی مورد نیاز استفاده می‌شود.
- اگر این اندیس به مقدار زیادی بالاتر از اندیس‌های کار گلوله‌ای و میله‌ای باشد، دلیلی برای این است که آیا خردایش SAG بخشی از فلوشیت فرآیند باشد یا نه؟
- مقادیر اندیس کار سنگ‌شکنی باند از
- 8 kWh/t برای لاتریت‌های کلاهی (cap Laterites) سخت تا
- 22 kWh/t برای تشکیلات آهن باندی (banded iron formation) تا
- 46 kWh/t برای گرین‌استون (Greenstone) تازه تغییر می‌کند.

تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)

- وزنه‌ها از پروفیلی با مقطع مربع با طول ضلع 50.8 mm و طول 711.2 mm درست شده‌اند.
- هر وزنه بر روی طوقه 22 in (قطر طوقه 558.8 mm) قرار گرفته است. فاصله محور طوقه‌ها از یکدیگر 762 mm و فاصله مرکز ثقل طوقه‌ها تا محور طوقه‌ها 412.75 mm است. فاصله بین وزنه‌ها در حال سکون نیز 50.8 mm است.
- نمونه‌های مورد آزمایش هر یک به طور جداگانه در فاصله بین دو آونگ قرار داده می‌شوند. سپس توسط ریسمانی که از روی طوقه‌ها عبور داده شده است، آونگ‌ها تا ارتفاع مشخصی بالا برده می‌شوند و به طور همزمان رها می‌شوند.

تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)

- آزمایش با یک زاویه کوچک (زاویه 10 درجه‌ای امتداد چکش‌ها با سطح افق) شروع می‌شود.
- چنانچه در اثر برخورد وزنه‌ها نمونه سنگ معدنی خرد نشود، وزنه‌ها تا ارتفاع بالاتری (5 درجه بیشتر) برده می‌شوند. این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا هر یک از قطعات حداقل به سه تکه تقسیم شود.
- ابعاد هر یک از قطعات پس از خرد شدن اندازه‌گیری می‌شود. میزان بالا رفتن وزنه‌ها نیز با زاویه گردش آنها مشخص می‌شود.
- آزمایش می‌باید بر روی 10 تا 20 نمونه انجام شود.

تست ضربه (تست قابلیت خردایش) (اندیس کار سنگ شکنی ضربه‌ای) (Impact crushing test) (Crushability test)

□ کار مصرف شده برای خرد کردن نمونه برابر است با:

$$\square E = 2 \times 13.62 \times 0.417 \times (1 - \cos \alpha) = 11.34 (1 - \cos \alpha) \text{ kg.m}$$

□ اندیس کار برابر است با:

$$\square W_i = \frac{47.6 \times E}{\sigma \times t}$$

□ با ترکیب دو معادله فوق:

$$\square W_i = \frac{540 \times (1 - \cos \alpha)}{\sigma \times t}$$

□ که در آن: σ چگالی سنگ (g/cm^3)، t ضخامت قطعه سنگ (cm)، α زاویه انحراف وزنه‌ها نسبت به خط افقی می‌باشند.

تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

□ از آنجایی که مزایای نصب آسیاهای خودشکن فراوان است و از طرفی نصب آنها بدون انجام برنامه تست (test program) کامل دارای ریسک فراوان است و به احتمال زیاد سبب نصب ناکارآمد می شود (که تصحیح آن بسیار مشکل و هزینه بر است) لازم است کانه‌ها برای بررسی خردایش در آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن، امکان ایجاد ابعاد بحرانی، شرایط بهینه آسیا و تخمین توان مورد نیاز آسیا تست شوند.

□ در آسیاهای میله‌ای و گلوله‌ای کیفیت، نوع و مکانیزم فرآیند شناخته شده است درحالیکه برای خردایش خودشکن نیاز به کار تستی (test work) داریم تا اطلاعات مفیدی از وضعیت خردایش طبیعی کانه به دست آوریم.

تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

تست‌های اصلی اولیه که توصیه می‌شوند، تست‌های شایستگی واسطه خردایش خودشکن هستند.

تست‌های مذکور در اوایل دهه 1960 توسط Fred C. Bond ارائه و تکمیل شده‌اند.

این تست‌ها با بررسی مشخصات خردایش کانه، سائز واسطه خردایش را تخمین می‌زنند.

در این میان، علاوه بر تست Tumble تست‌های مرتبط دیگری مانند اندیس سایش، اندیس

کار، تست ضربه، خردایش‌پذیری، چگالی توده‌ای (bulk) و ثقل ویژه نیز به عنوان بخشی از

روند ارزیابی واسطه خردایش انجام می‌شوند.

تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

- این تست اولیه برای ارزیابی مناسب بودن یک کانسنگ برای خردایش در یک آسیای خودشکن است.
- نمونه کانسنگ در یک آسیا گردانده می شود و محصول دانه بندی می گردد.
- آنالیز ابعاد با مقایسه و انطباق آنالیز ابعادی کانسنگ با آنالیزهای ابعادی کانسنگ هایی که برای خردایش خودشکن یا نیمه خودشکن مناسب شناخته شده بودند، انجام می شود.
- این مقایسه برآوردی از اینکه آیا کانسنگ آزمایشی احتمالاً پاسخگو به خردایش خودشکن یا نیمه خودشکن است را ارائه می دهد.
- همچنین می تواند به عنوان اولین مرحله برای تست پیشرفته شایستگی واسطه استفاده شود.

تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

□ حداقل سه تست شایستگی واسطه به طور گسترده در طراحی مدار خودشکن / نیمه خودشکن

استفاده شده است:

➤ تست شایستگی قلوه سنگ کیلبرن (Kilborn pebble competency test)،

➤ تست شایستگی واسطه استوانه آلیس چالمرز (Allis-Chalmers Autogenous

و Tumble Test)

➤ تست پیشرفته شایستگی واسطه امدل - اوروی (Amdel-Orway).

تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

- تست Kilborn در یک آسیای کوچکتر انجام می‌شود و یک تست نیمه‌پیوسته است (کانسنگ شکسته‌شده حذف و با کانسنگ تازه جایگزین می‌شود تا اینکه یک شرایط توازن به وجود آید).
- کانسنگ آسیاهای ناپیوسته تست Allis-Chalmers در استوانه 6 در 1 فوتی با محصول آسیاکنی بطور کیفی ارزیابی می‌شود.
- تست Amdel-Orway بطور مشابه انجام می‌شود اما تست‌کردن ضربه‌ای را در محدوده‌های ابعادی متنوع محصولات آسیا اضافه می‌کند.
- در کل، این تست‌ها بطور کیفی ارزیابی می‌شوند تا شایستگی و ترکیب مدار را پیشنهاد کنند.

تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

مزایا:

- اساساً این تست‌ها برای ارزیابی شایستگی ذرات درشت‌تر با کمترین کانسنگ انجام می‌شوند.
- این تست‌ها ارتباط بین ابعاد فوقانی نمونه و وزن نمونه مورد نیاز را مشخص می‌کنند.
- هر یک از سه تست می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای شایستگی کانسنگ درشت‌دانه بدون وزن نمونه مورد نیاز زیاد برای تست نیمه‌صنعتی تهیه کند.

معایب:

- اما تست‌ها فرمولی مستقیم از توان مورد نیاز برای آسیاکنی ارائه نمی‌کنند و نیز داده‌های مناسب برای شبیه‌سازی را نیز تولید نمی‌کنند.
- دو تا از سه تا تست، ناپیوسته هستند. تست‌های ناپیوسته بینش اندکی برای ترکیب بار آسیا در حالت پایدار ارائه می‌دهند.



تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

- کانسنگی مانند کوارتز بسیار شایسته (محکم) است و به آسانی در آسیای نیمه خودشکن نخواهد شکست.
- کانسنگ‌های نرم و شکننده مانند بوکسیت یا هماتیت براق (Specular hematite) نسبتاً به آسانی خواهند شکست.
- کانسنگ‌های رسی و اکسیدشده ممکن است آنقدر نرم باشند که نتوانند به عنوان واسطه خردایش به کار روند و بنابراین به عنوان کانسنگ ناشایسته طبقه‌بندی می‌شوند.
- Smith: گزینه‌ای برای نصب آسیای AG/SAG همراه با یک آسیای گلوله‌ای نرمال امکان‌پذیر است؛ هنگامی که مقاومت فشاری نامحدود (تک محوره) (UCS) کانسنگ کمتر از 180 مگاپاسکال، اندیس کار سنگ‌شکنی باند کمتر از 20 kWh/t و اندیس کار آسیای میله‌ای باند بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از اندیس کار آسیای گلوله‌ای باند نباشد و هر دو به مقدار قابل توجهی بزرگ‌تر از 15 kWh/t نباشند، مدنظر قرار می‌گیرد.

تست شایستگی واسطه خردایش خودشکن (Autogenous Media Competency Test)

- برای تعیین شایستگی کانسنگ، یک تست نیمه کمی توسط رولند و کجوس (کیئوس) (Rowland and Kjos, 1980) توسعه داده شده است.
- در این تست نمونه شامل 50 تکه سنگ با ابعاد بین 102 تا 165 میلی متر با وزن کلی بین 200 و 250 کیلوگرم انتخاب می شود.
- تکه های سنگ در استوانه ای به قطر 1.8 متر شارژ می شوند و استوانه به میزان 500 دور با سرعت 26 دور بر دقیقه گردانده می شود.
- توزیع ابعادی محصول آنالیز می شود و تعداد تکه های سنگ برابر با یا بزرگ تر از 19 میلی متر تعیین می شود.
- توزیع ابعادی کانسنگ نامعین سپس با کانسنگ های مشخصی که برای خردایش خودشکن و نیمه خودشکن مناسب هستند، مقایسه می شود.

تست مقاومت فشاری تک محوره (نامحدود) (Unconfined Compressive Strength) (UCS)

- مقاومت فشاری (یا مقاومت به سنگ شکنی) سنگ‌ها توسط بارگذاری یک استوانه آماده سنگ به شکست تحت فشار آهسته تعیین می‌شود.
- استوانه آماده توسط حفاری یک نمونه مغزه 50 میلی‌متری از یک نمونه سنگ ترکیبی بدست می‌آید.
- این تست طبق ASTM D2938-95 «روش تست استاندارد برای مقاومت فشاری نامحدود نمونه‌های مغزه سنگ بکر» انجام می‌شود.
- این استاندارد آزمایش حداقل 10 نمونه را توصیه می‌کند.
- Amdel تست 1 تا 9 نمونه را از طریق یک روش تصحیح شده ASTM D2938-95 نیز پیشنهاد می‌کند.

<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D2938-95.htm>

تست مقاومت فشاری تک محوره (Unconfined Compressive Strength)



تست مقاومت فشاری تک محوره (Unconfined Compressive Strength)



تست مقاومت فشاری تک محوره (Unconfined Compressive Strength)

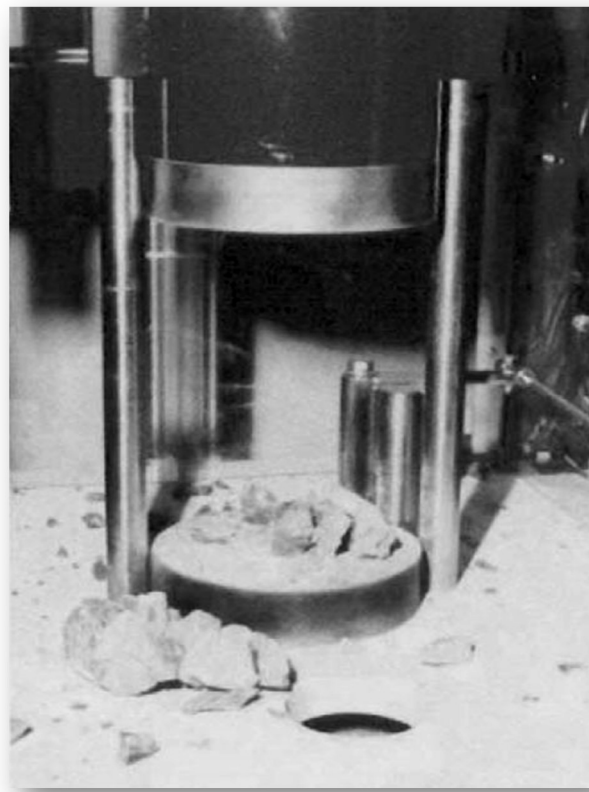


تست مقاومت فشاری تک محوره (Unconfined Compressive Strength)

وضعیت یک نمونه قبل از انجام آزمایش



وضعیت یک نمونه پس از انجام آزمایش



تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

□ امروزه تست‌هایی که بر روی کانه‌ها (سنگ سالم) انجام می‌گیرند تا خردایش خودشکن یا

نیمه‌خودشکن کانه مورد بررسی قرار گیرد تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی

(AMCT) نامیده می‌شوند.

□ در صورتی که نظریه کلی مثبت بود، تست‌های پایلوت برای خردایش خودشکن اولیه نیاز

است. در تست‌های پایلوت باید تمامی پاسخ‌های مورد نیاز برای کارآیی خردایش

خودشکن اولیه را کسب کنیم.

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی

(Advanced Media Competency Test) (AMCT)

- این تست اطلاعات به دست آمده از تست‌های قبلی را برای به دست آوردن اطلاعات طراحی و پیش‌امکان‌سنجی (pre-feasibility study) برای خردایش خودشکن و نیمه‌خودشکن ترکیب می‌کند.
- در ابتدا، نمونه‌ها برای تست مقاومت فشاری نامحدود (UCS) انتخاب می‌شوند.
- بقیه مواد برای انجام تست شایستگی واسطه خودشکن یا برای حذف صفحات ضعیف، در آسیا گردانده می‌شوند و کانسنگ را برای تهیه محدوده‌ای از ابعاد می‌شکنند.
- سپس تست‌های زیر انجام می‌شوند:
- اندیس کار سنگ‌شکنی ضربه‌ای برای چندین محدوده ابعادی
- اندیس سایش
- اندیس کار آسیای میله‌ای
- اندیس کار آسیای گلوله‌ای
- مقاومت فشاری تک‌محوره

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

- برای تست پیشرفته شایستگی واسطه، سنگ‌های تست شایستگی رولند و کجوس (کیئوس) در محدوده بین 75- و 19+ میلی‌متر در معرض تعیین اندیس کار سنگ‌شکنی ضربه‌ای باند قرار می‌گیرند.
- یک تست اندیس کار آسیای میله‌ای یا گلوله‌ای نیز انجام می‌شود و داده‌ها برای تعیین آسیای خودشکن یا نیمه‌خودشکن مورد نیاز استفاده می‌شود.
- Amdel ارزیابی داده‌های تست را انجام می‌دهد. برنامه‌های مدل‌سازی کامپیوتری و پایگاه داده قدیمی می‌توانند برای تهیه ابعاد آسیا و توان موردنیاز موتور و جزئیات ترکیب مدار مورد استفاده قرار گیرند.

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

❑ تست‌های AMCT که مهمترین آنها Tumble Test می‌باشد به شرح زیر می‌باشند:

- ❑ Impact Crushing Strength (انديس کار سنگ‌شکن ضربه‌ای) (CWi)
- ❑ Unconfined Compressive Strength (UCS)
(مقاومت فشاری نامحدود یا تک‌محوره)
- ❑ Abrasion Index (انديس سایش) (Ai)
- ❑ Bond Work Indices (انديس‌های کار میله‌ای و گلوله‌ای باند) (BWi, RWi)
- ❑ Autogenous Work Index: MacPherson Procedure
(انديس کار خودشکن: روش مک‌فرسون) (AWi)
- ❑ Autogenous Tumble Test (آزمایش گردان خودشکن)

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

❑ Autogenous Work Index MacPherson Procedure:

- ❑ MacPherson به منظور تعیین اندیس کار خردایش خودشکن به ارائه یک طرح و تکمیل آن پرداخته است.
- ❑ سیستم مذکور از یک آسیای هوایی (Aerofall mill) 475 mm بهره می‌برد و در یک دوره کافی برای رسیدن به تعادل معین در شرایط آسیا به فعالیت می‌پردازد.
- ❑ سپس در یک دوره یک تا دو ساعته محصول را جهت بررسی و تحلیل بعد و توزیع وزنی آماده می‌کنند.
- ❑ نمونه باید 227 kg وزن داشته باشد و از سنگ سالم به دست آمده باشد و پیش از آزمایش تا ابعاد 32 mm - خرد شود.
- ❑ با معلوم بودن d_{80} خوراک، محصول و انرژی مصرفی آسیا اندیس کار را از رابطه باند به دست می‌آوریم.

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی

(Advanced Media Competency Test) (AMCT)

A. R. MacPherson

In recognition of a lifetime of pioneering in the field of mineral processing particularly in engineering design, development, and construction of circuits for comminution of ores by autogenous and semi-autogenous grinding.

AIME Robert H. Richards Award in 1982



Born in Nova Scotia, Mr. MacPherson first worked in the gold mining industry in Canada and in the Gold Coast Colony, West Africa, after which he served with the Royal Canadian Engineers in Canada, England and Northwest Europe. Returning to his homeland, he was employed in the Mines Branch, Ottawa, where the first pilot plant operations were starting on Aerofall autogenous grinding mill on a variety of ores, both metallic and industrial minerals.

Five years later, Mr. MacPherson joined Aerofall Mills, remaining with the company during a period when the development of the autogenous mill continued in many fields, with plants being installed to handle iron ore, asbestos, copper and uranium and industrial minerals. Working independently as a consultant, from 1960 to 1962, Mr. MacPherson developed the basic data on the design of wet autogenous mills, as well as developing flowsheets for major

iron ore projects.

In 1962, Mr. MacPherson joined Canadian Bechtel in Montreal, remaining with that company until his retirement in 1978. During this period with Bechtel, many large pioneering plants were built including the Carol Lake plant using dry autogenous grinding and the Seven Islands iron ore flotation plant, the Griffith iron ore plant, the Similkameen copper plant in British Columbia, with the major design of Lornex Copper plant also completed.

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی

(Advanced Media Competency Test) (AMCT)

- آزمایش مکفرسون برای آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن:
- در این آزمایش، آزمون‌های استاندارد میله‌ای و گلوله‌ای باند به همراه آزمایش خودشکن خشک انجام می‌شوند.
- نمونه مورد نیاز 250 kg است که باید به طور کامل به زیر 3.175 cm رسانده شود. سرد کنترلی 1.19 mm (14 مش) است.
- سیستم به طور پیوسته و به مدت 1 تا 2 ساعت به صورت خشک کار می‌کند و با مکش هوا ذرات خرد شده از سیستم خارج می‌شوند.
- قطر آسیا (D) 45 cm می‌باشد و رابطه بین قطر و طول آن (L) به صورت $L = 0.63 D$ تعریف می‌شود.
- آسیا با سرعت 84.5% سرعت بحرانی کار می‌کند. زمانی که سیستم به حالت پایدار رسید (معمولاً با نمونه‌برداری پیوسته مشخص می‌شود)، توان خالص آسیا محاسبه و از رابطه زیر اندیس کار خودشکن (AW_i) تعیین می‌شود.

$$AW_i \left(\frac{kWh}{t} \right) = \frac{\text{وات خالص آسیا}}{\text{خروجی آسیا (کیلوگرم بر ساعت)}}$$

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

- اگر AW_i کمتر از 11 به دست آید، بدون بزرگ مقیاس کردن (scale-up) در کارخانه قابل استفاده است.
- در صورت بزرگتر بودن AW_i ، به دلیل عدم در نظر گرفتن تأثیر ضربه در آسیاهای بزرگتر بویژه زمانی که سنگ معدن سخت است، ضریب تصحیحی مورد نیاز است.
- جهت تعیین نوع سنگ معدن، اندیس کار کارخانه با اندیس کار میله‌ای و گلوله‌ای باند مقایسه می‌شود. در صورتی که تقریباً برابر باشند، این نوع سنگ معدن در مدار آسیای نیمه‌خودشکن مشکل ایجاد نمی‌کند.
- اما در صورتی که اندیس کار گلوله‌ای باند بسیار بزرگتر از اندیس کار میله‌ای و کارخانه باشد، حاکی از وجود ذرات با مقاومت بالا (سایز بحرانی) (critical size) می‌باشد و باید سنگ‌شکنی قله‌سنگی یا استفاده از مقدار زیاد گلوله در آسیا مد نظر قرار گیرد.

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی

(Advanced Media Competency Test) (AMCT)

Autogenous Tumble Test :

☐ کاربردهای تست Tumble:

- برای تعیین صلاحیت آسیای خودشکن و نیمه خودشکن برای خردایش کانه مورد نظر
- بررسی پتانسیل تولید محصول با سایز بحرانی
- شناخت مشخصه‌های نسبی کانه

Autogenous Tumble Test Characteristic:

- ☐ تست کننده محیط با قطر درونی معادل 6 ft و طول 1 ft، حجم درونی معادل با 27 ft³ را داراست.
- ☐ دستگاه مذکور دارای شمارنده چرخش است که عموماً با سرعتی برابر با 26 rpm (80 - 83% سرعت بحرانی) می چرخد.
- ☐ بار تست شامل 50 سنگ در 5 بعد می باشد و هر بعد وزنی معادل 400 - 600 lb را شامل می شود.
- ☐ تست کننده 500 بار می چرخد، سپس از آن بارگیری می شود و محصول آن مورد آنالیز سرنندی قرار می گیرد و کیفیت خردایش بررسی می شود.

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)



آسیای استفاده شده جهت آزمایش محکمی واسطه

- 10 rocks 6.5 × 6 in
- 10 rocks 6 × 5.5 in
- 10 rocks 5.5 × 5 in
- 10 rocks 5 × 4.5 in
- 10 rocks 4.5 × 4 in

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

- چهار فاکتور بحرانی که قبل از تصمیم‌گیری در رابطه با خردایش خودشکنی باید روشن شوند، عبارتند از:
- ۱- آیا بخش ابعادی بار خردکننده در کانسنگ فاز بار خردکننده مناسبی را فراهم می‌آورد که خردایش خودشکنی مد نظر قرار گیرد؟ (ابعاد درشت می‌توانند نقش گلوله را ایفا کنند؟)
- ۲- اگر کانسنگ به قدر کافی بار خردکننده مطلوب نداشته باشد، آیا خردایش نیمه‌خودشکن می‌تواند به کار رود؟ و اگر چنین باشد، در این صورت ابعاد گلوله‌های لازم چقدر باشد؟ و میزان مصرف گلوله در آسیا چقدر باید باشد؟
- ۳- آیا محصول تولیدشده برای مرحله بعدی فرآیند مناسب خواهد بود؟
- ۴- میزان انرژی مصرفی در خردایش خودشکنی یا نیمه‌خودشکنی چقدر است؟

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

- نتایج تست‌های صلاحیت محیط (واسطه خردایش) با نتایج حاصل از تست‌های دیگر مقایسه می‌شوند و یک یا چند حالت از پیشنهادات زیر اتخاذ می‌گردد:
 - ۱- کانه محیط خودشکن مناسبی را فراهم می‌کند و طرح پایلوت مورد نظر است.
 - ۲- کانه محیط مشکوکی را ایجاد می‌کند و در صورتی که مطالعات بعدی هزینه‌ها و شرایط دیگر را توجیه کنند، طرح پایلوت برای مطالعات بیشتر اجرا می‌شود.
 - ۳- صلاحیت محیط مشروط است و امکان ایجاد ابعاد بحرانی مهیا است، با این حال ساختمان کانه به گونه‌ای است که خردایش نیمه‌خودشکن تقریباً مساعد است و موفقیت طرح پایلوت این حالت آشکار است.

تست پیشرفته شایستگی واسطه خودشکنی (Advanced Media Competency Test) (AMCT)

- ۴- شرایط محیطی خوب با ابعاد اولیه فراهم نیست اما کانه کنگلومرایی است و قابلیت جدایش و تبدیل به ابعاد دانه‌ای طبیعی را دارا است، در این حالت تست پایلوت پیشنهاد می‌شود.
- ۵- تست‌های بیشتر تضمین شده نیست و خردایش سنتی باید به کار گرفته شود چرا که ابعاد قطعات محیطی، کمیتی کافی از ابعاد مختلف در آسیا را فراهم نکرده است و کانه غیرساینده می‌باشد و در حالتی که مواد مناسب ایجاد شود، هزینه خردایش خودشکن بسیار بالا است.

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)

<https://www.mechmining.uq.edu.au/mining-engineering>



THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND
AUSTRALIA

School of Mechanical & Mining Engineering



THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND
AUSTRALIA

Campuses

[UQ HOME](#) [CONTACTS](#) [STUDY](#) [MAPS](#) [NEWS](#) [EVENTS](#) [LIBRARY](#) [GIVE NOW](#) [MYUQ](#)

Search this site



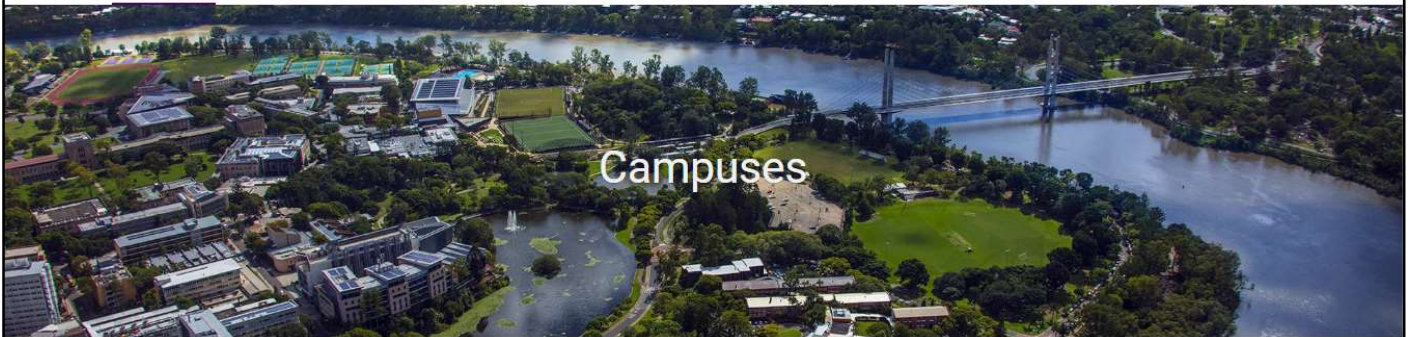
[Home](#)

[St Lucia](#)

[Gatton](#)

[Herston](#)

[Other locations](#)



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)



THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND
AUSTRALIA

UQ HOME CONTACTS
Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre
Sustainable Minerals Institute

SMI JKMRC

Julius Kruttschnitt Mineral
Research Centre

Innovative applied research in mineral processing
and geometallurgy

<http://www.jkmrc.uq.edu.au/>

<https://smi.uq.edu.au/jkmrc>



**Professor
Alice Clark**

Director of
Production Centres
- BRC & JKMR



**Ryan
Anderson**

Workplace Health,
Safety & Facilities
Manager



**Dr Christian
Antonio**

Senior Research
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMR)



**Dr Grant
Ballantyne**

Research Fellow -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMR)



**Dr Benjamin
Bonfils**

Research Fellow -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMR)



**Sherrin
Brundle**

Facilities
Co-ordinator -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMR)

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMR (JKMRC Drop Weight Test)



**Mrs Andrea
Crawford**

Casual Research
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Dr Cathy
Evans**

Senior Research
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Jessica Gray

Mineralogy Analyst
- Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Maruf Hasan

Casual Research
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Karen
Holtham**

Library Officer -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Dr Vladimir
Jokovic**

Research Fellow -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Professor
Sarma
Kanchibotla**

NEXT GEN MINE
TO
CONCENTRATOR
Program Leader -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Michael
Kilmartin**

Senior Technical
Officer - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Dr Robert
Morrison**

Chief Technologist
- Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Professor Tim
Napier-Munn**

Emeritus Professor
- Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Mr Ton
Nguyen**

Senior IT Officer -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Professor
Malcolm
Powell**

ROCK Program
Leader - Chair in
Comminution -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)



Dr Kym Runge

PROCESSING:
PREDICTION OF
PROCESS
PERFORMANCE
Program Leader -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Dr Feng Shi

Principal Research
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Francois Vos

Research Fellow -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Dr Dion
Weatherley**

Senior Research
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Dr Elaine
Wightman**

Senior Research
Fellow - JKMRC /
Postgraduate
Coordinator (SMI)



Dr Weiguo Xie

Senior Reserch
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Dr Mohsen
Yahyaei**

Program Leader -
Senior Research
Fellow - Julius
Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Erica Avelar

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Pascal
Chamboko**

MPhil Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Farhad
Faramarzi**

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**German
Figueroa**

MPhil Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



**Jaun Frausto
Gonzalez**

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)



Constanza Paredes Bujes

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Muhammad Abdur Rasyid

MPhil Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Yogesh Reja

MPhil Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Vannie Resabal

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Fatemeh Saeidi

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Nerrida Scott

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Maedeh Tayebi-Khorami

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



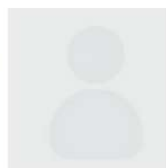
John Thella

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Lei Wang

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Gregory Wilkie

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Baris Yildirim

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)



Ping Yu

PhD Candidate -
Julius Kruttschnitt
Mineral Research
Centre (JKMRC)

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMR (JKMRC Drop Weight Test)



Dr. Dan Alexander

Adjunct Professor - Sustainable Minerals Institute



Professor Dee Bradshaw

Honorary Professor - Sustainable Minerals Institute



Robert Dunne

Adjunct Professor - Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre



Dr Ying Gu

Honorary Research Fellow - Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC)



Professor Bill Johnson

Honorary Professor Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre



Professor James Joy

Honorary Professor - Sustainable Minerals Institute



Robert Schouwstra

Adjunct Professor - Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre



Dr Deming Wang

Honorary Research Fellow - Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC)



Dr Nirmal Weerasekara

Honorary Research Fellow - Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC)

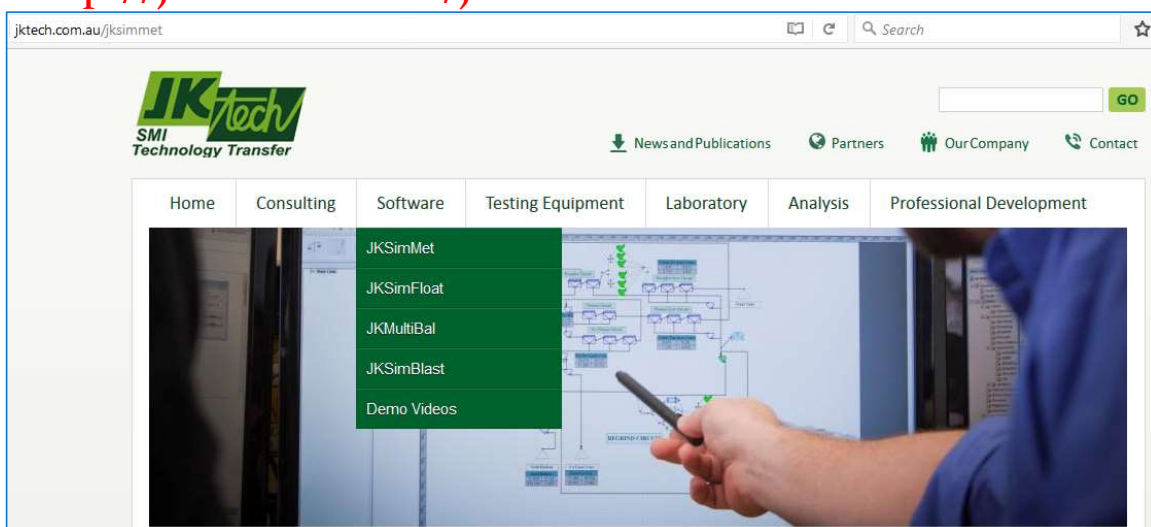


THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND
AUSTRALIA

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

- در سال 1992 در JKMRC این تست به عنوان یک روش استاندارد مطرح شد.
- جهت تعیین ویژگی‌های شکست نمونه و در مدل‌سازی آسیاهای AG و SAG با نرم‌افزار JKSimMet کاربرد دارد.

<http://jktech.com.au/jksimmet>



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRc (JKMRc Drop Weight Test)

JKSIMMET

Simulation of Comminution and Classification Circuits – integrating all tasks within one package.



JKSimMet is an award-winning, general-purpose computer software package for the analysis and simulation of comminution and classification circuits in mineral processing operations, developed from decades of research out of the renowned Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRc) from The University of Queensland.

The package is designed for plant and development metallurgists who wish to apply process analysis techniques to characterise and optimise plant performance, and design engineers who require process simulation models to assess design alternatives.

JKSimMet integrates all tasks associated with data analysis, optimisation, design and simulation, including the storage and manipulation of models, data and results, within one package. Mass balancing and model fitting of complete circuits are standard features. It is fully interactive and operates with high-resolution colour graphics. These graphics facilitate the display of detailed plant flowsheets and accompanying information.

JKSimMet Allows the User to:

- Build a graphic-based flowsheet of the processing plant and test its performance
- Assign machine criteria and model parameters to each plant case study
- Simulate the effect of changes in operating conditions and flowsheets to predict product flows and size distributions
- Determine optimum conditions, plant throughput, and product size



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

JKSIMMET

Simulation of Comminution and Classification Circuits – integrating all tasks within one package.



Standard Features:

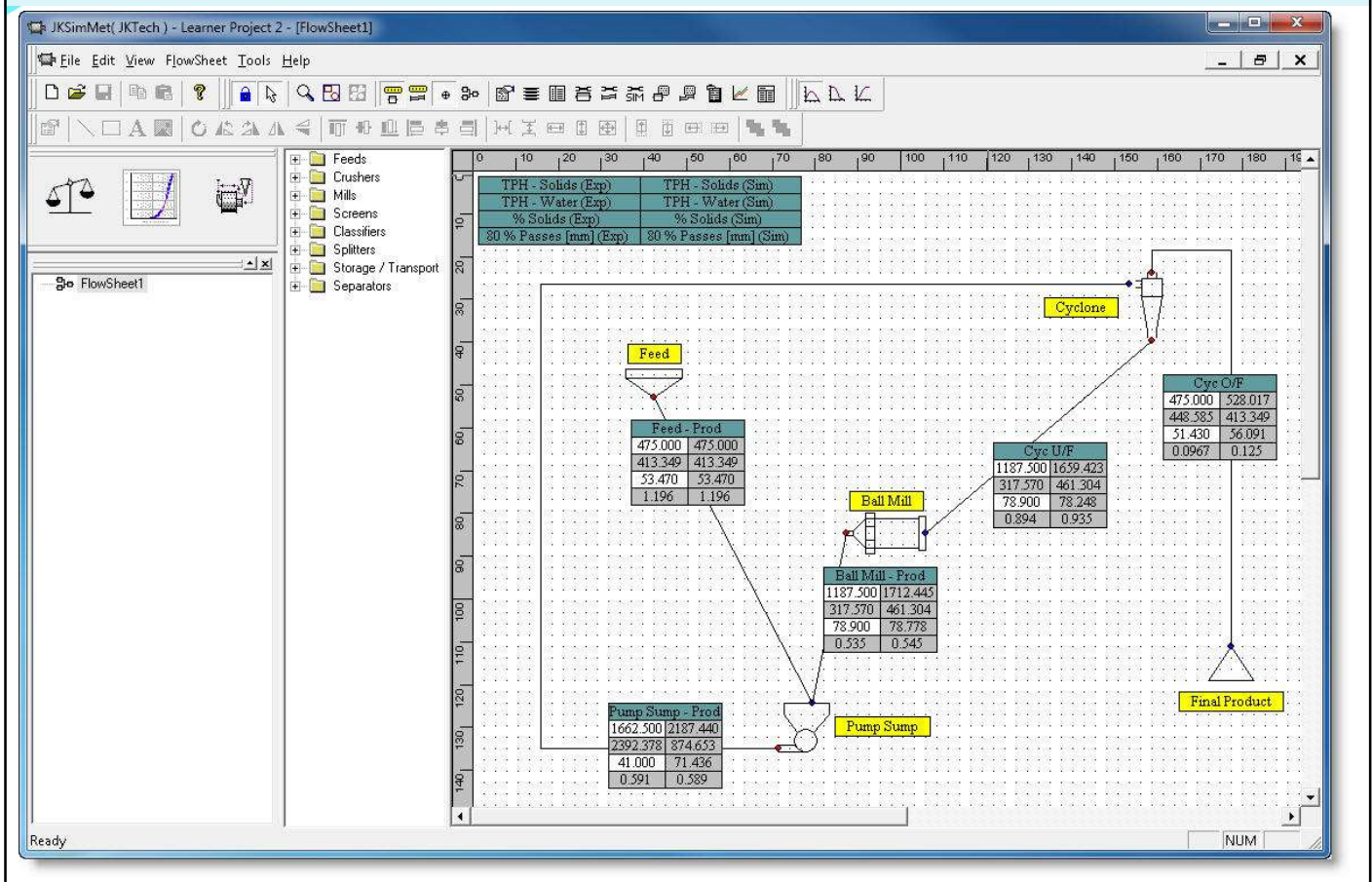
- Flowsheet specified interactively on the graphics screen
- Models selected from a built-in library
- Model parameters can be specified by the user
- Range of data output displays and printed reports
- Simple data import and export

Models Available:

- Rod mill and ball mill
- Autogenous and semi-autogenous mill
- Crusher
- HPGR
- Simple degradation
- Vibrating screen – single and double deck
- DSM screen
- Hydrocyclone
- Efficiency curve
- Splitter



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)

The screenshot displays the JKSimMet V5.3 software interface for a 'Ball Mill - Cyclone Template.jksm5' simulation. The main window shows a process flow diagram with various equipment units and their associated data tables.

Model Fit Parameters:

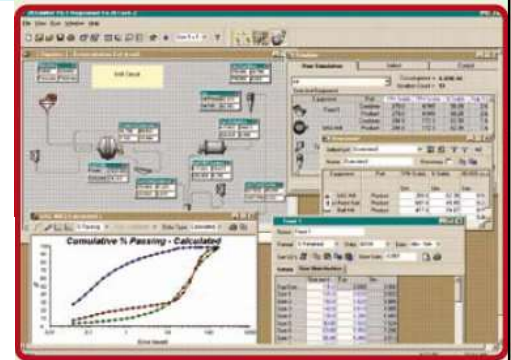
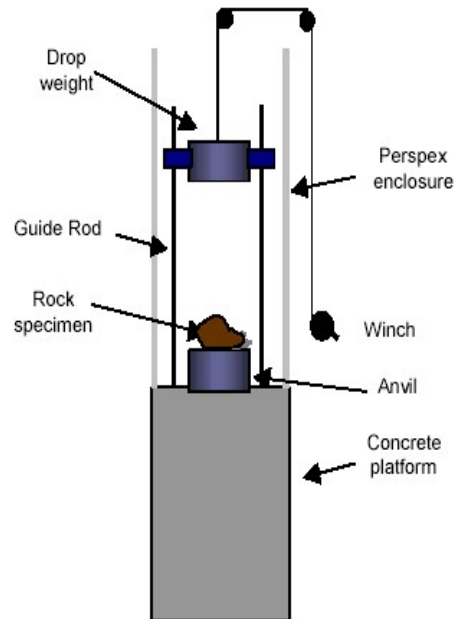
Equipment	Parameter	Scale Factor	Guessed Value	Fit	Fitted Value
Ball Mill	In R/D1	0,150	1,500	✓	0,85
Ball Mill	In R/D2	0,250	2,500	✓	3,27
Ball Mill	In R/D3	0,350	3,500	✓	3,89
Ball Mill	In R/D4	0,300	3,000	✓	3,56
Cyclone	KD0	10,00E-06	10,00E-05	✓	12,95E
Cyclone	KQ0	43,30	433,0	✓	461

Run Simulation Data:

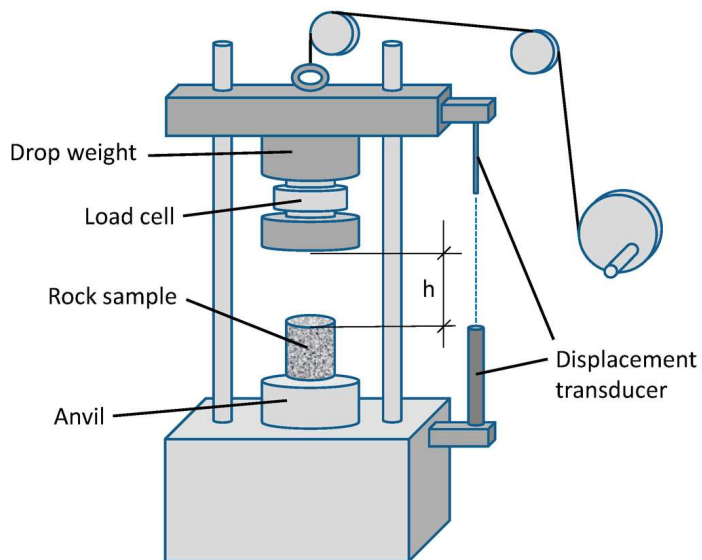
Equipment	Port	Solids (t/h)	Liquid (t/h)	% Solids	Pulp SG
New feed	Combiner	510,0	19,05	96,40	2,5
	Prod	510,0	19,05	96,40	2,5
Ball Mill	Combiner	1777	683,3	72,23	1,8
	Prod	1777	683,3	72,23	1,8
Cyclone	Combiner	1777	1280	58,12	1,5
	U/F	1267	504,2	71,53	1,8
	D/F	510,0	776,0	39,66	1,3

The interface also includes a 'JKSimMet V 5.1' logo and a 'JKSimMet V5.2 About' window. The status bar at the bottom shows the date '01.07.2014' and time '9:48'.

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)

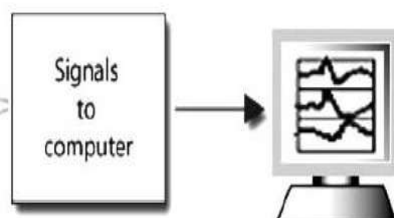


آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

فراکسیون‌های انتخابی جهت انجام آزمایش

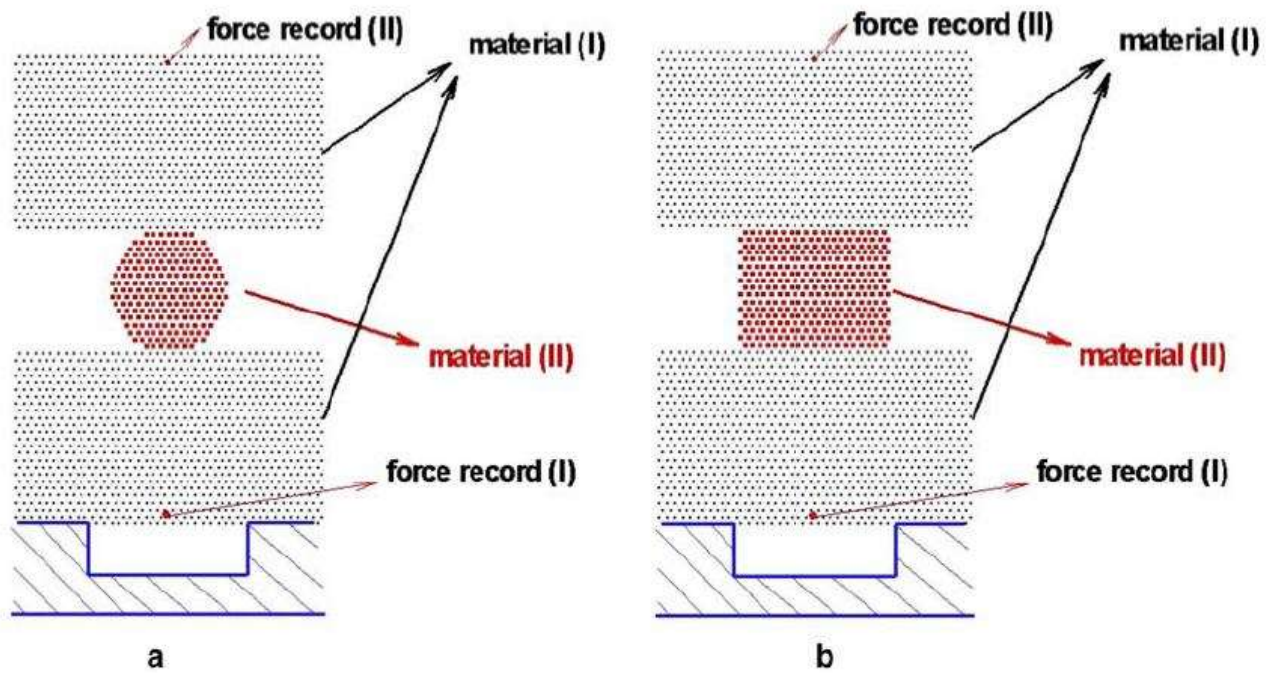


-63.0mm+53.0mm
-45.0mm+37.5mm
-31.5mm+26.5mm
-22.4mm+19.0mm
-16.0mm+13.2mm

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)



**آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC
(JKMRC Drop Weight Test)
(قرار دادن نمونه در جهات مختلف)**



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

نمای کامل دستگاه



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

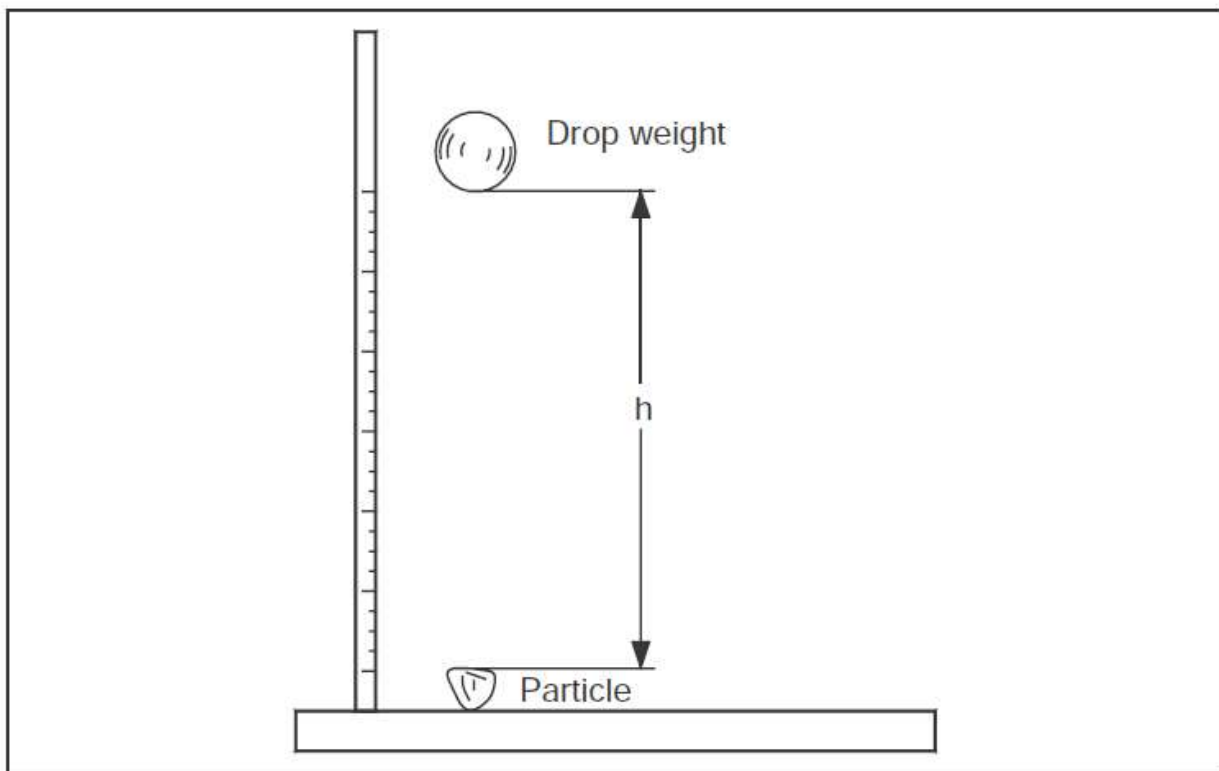


Figure 5.7 Simple drop-weight test for determination of the single-particle breakage function

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)

محاسبه انرژی خردایش

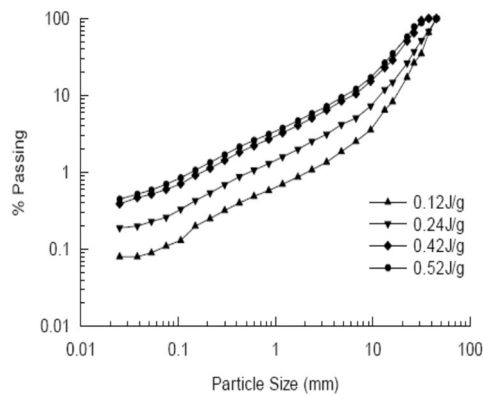
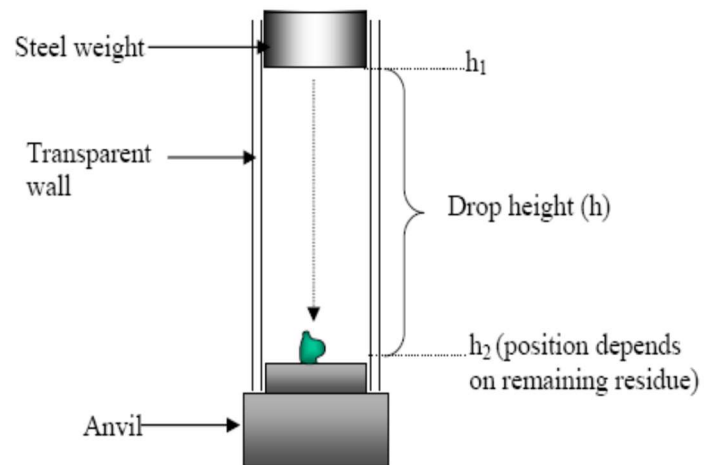


Figure 4-8 The effect of specific energy input on product size distribution of a -45 +37.5mm fraction



$$E = Mg(h_1 - h_2)$$

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

پارامترهای مورد بررسی

➤ پارامتر t_{10}

➤ مقدار (%) مواد عبوری از یک دهم اندازه اولیه پس از اعمال نیروی معین.

➤ پارامتر A و b

➤ این پارامترها از روی نمودار بدست می آیند.

$$t_{10} = A(1 - e^{-b \cdot Ecs})$$

where

t_{10} = percentage passing one tenth of the feed size

A and b = breakage characteristics from piston-press tests

Ecs = specific energy consumption (kWh/t)

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

$$T_{10} = A(1 - e^{-bE_G}) \quad (3.21)$$

JKMRC Method

If values of A and b are 45.4 and 1.15, respectively, and the specific comminution energy from a drop weight test was 2.8 kWh/t then from Equation (3.21):

$$T_{10} = 45.4(1 - e^{-1.15(2.8)}) = 43.6\%$$

$T_2 = \%$ passing 1/2 of the original particle size

$T_4 = \%$ passing 1/4 of the original particle size

$T_{10} = \%$ passing 1/10 of the original particle size

$T_N = \%$ passing 1/N of the original particle size

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) (JKMRC Drop Weight Test)

$$T_{10} = A(1 - e^{-bE_G}) \quad (3.21)$$

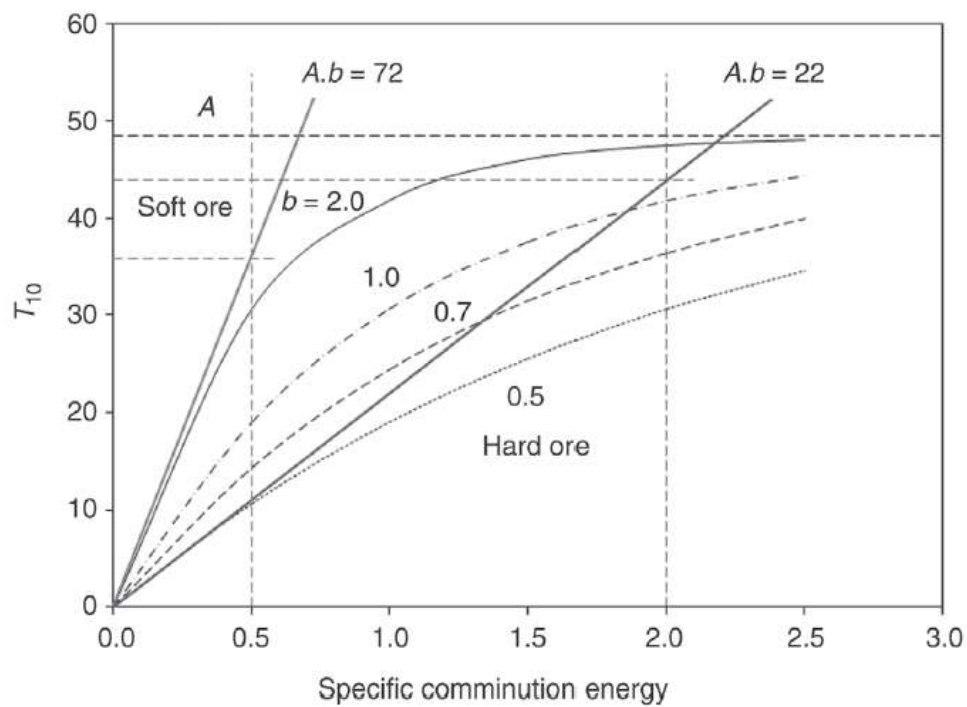


Figure 3.7: Relationship Between T_{10} and Specific Comminution Energy (Equation (3.21)).

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMR (JKMRC Drop Weight Test)

$$T_{10} = A(1 - e^{-BE_G})$$

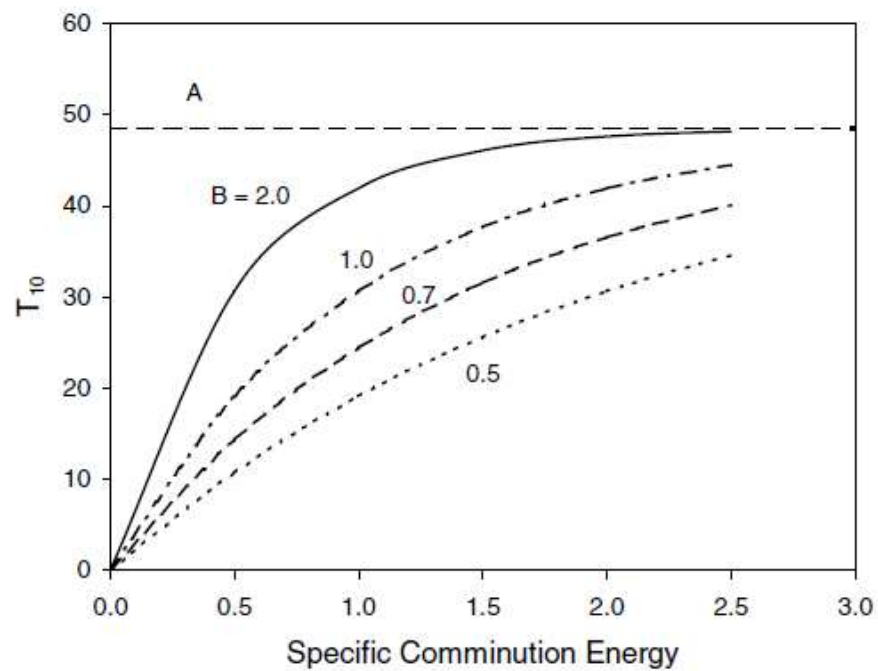


Fig. 3.11. Relationship between T_{10} and specific comminution energy (Eq. (3.46))

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)



(a)



(b)

Figure 7. (a) Drop-weight test in operation; (b) close-up of impact head and anvil

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

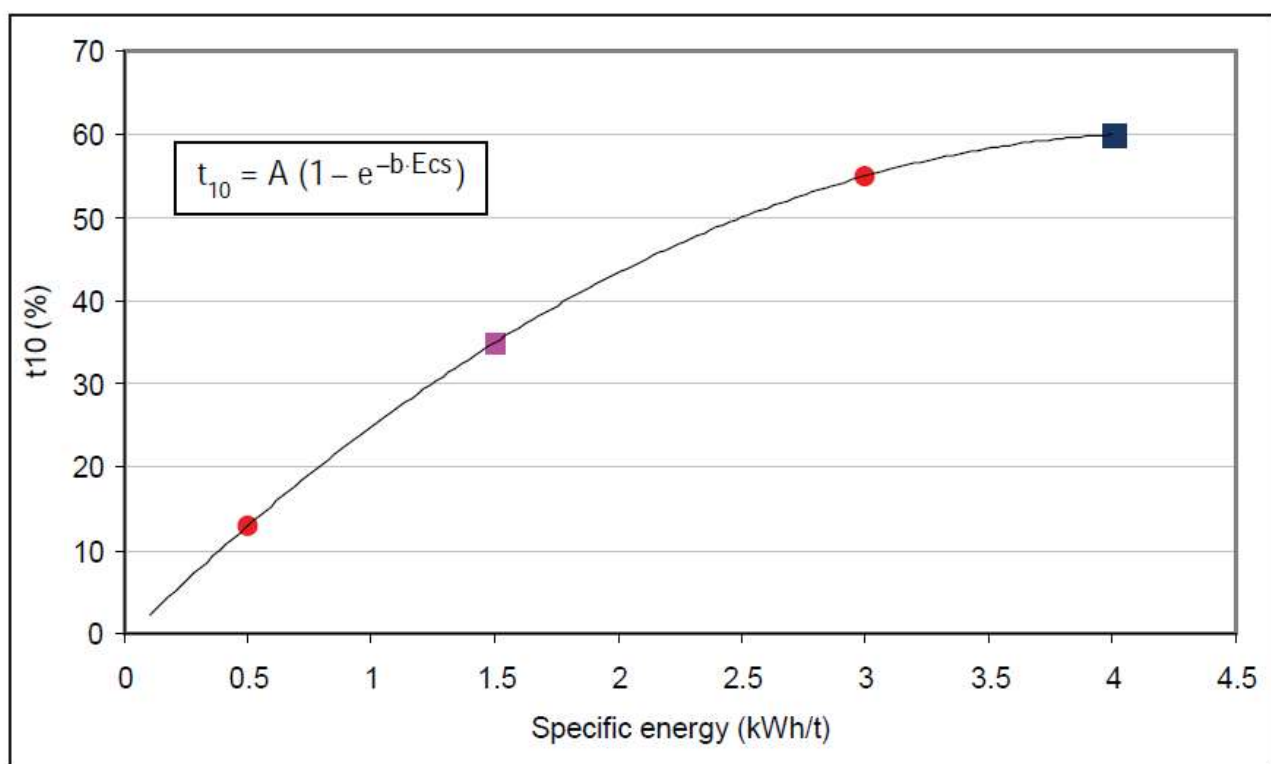


Figure 9. Variation of t_{10} with input energy for breakage of rocks in a fixed narrow size class

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

$$T_{10} = A(1 - e^{-bE_G}) \quad (3.21)$$

Napier-Munn et al. [24] indicated a possible correlation between the impact parameter ($A \cdot b$) and the Bond ball mill work index given by the equation

$$A \cdot b = -3.5 W_i + 117 \quad (3.22)$$

for crushing – T_{10} is usually between 10 and 20% and
for grinding – T_{10} ranges between 20 and 50%

$$T_N = 1 - (1 - T_{10})^{\left(\frac{10-1}{N-1}\right)^\alpha} \quad (11.4)$$

where α = a material specific parameter.

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

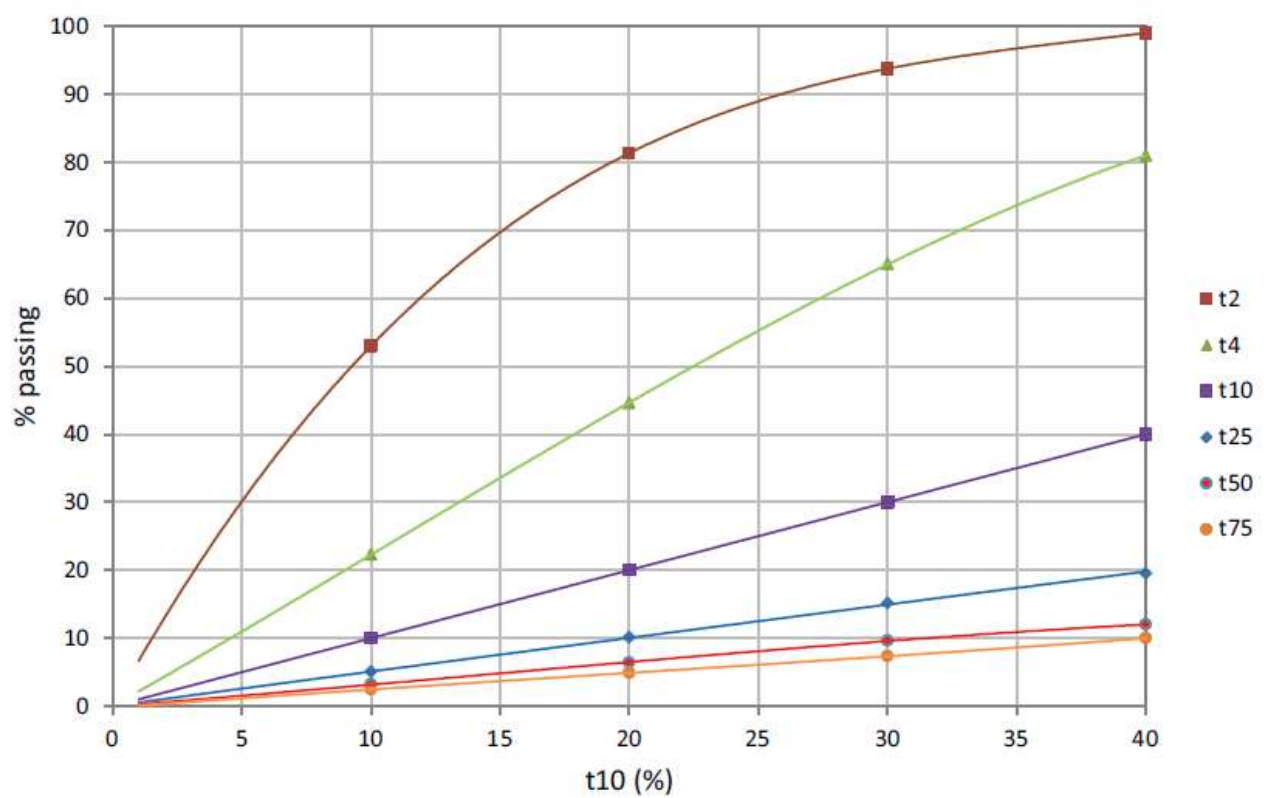
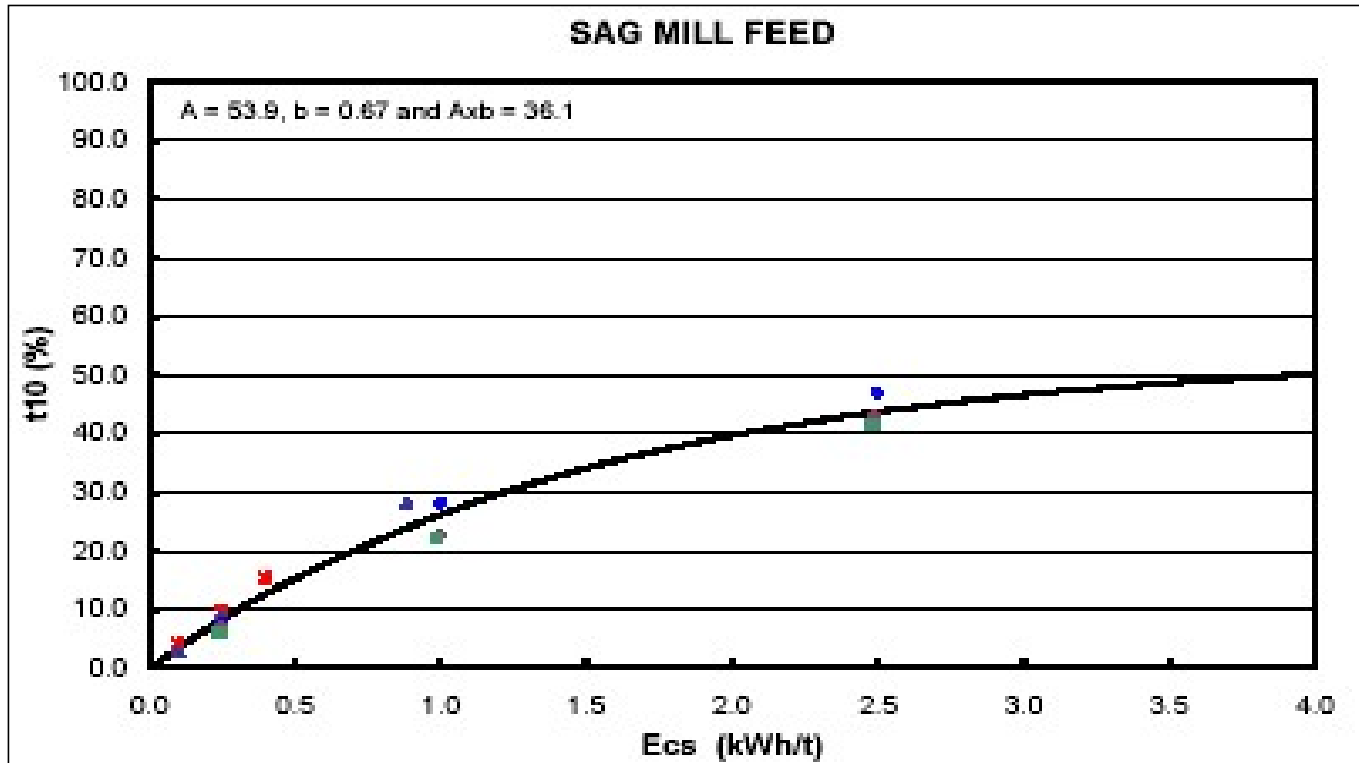


Figure 10. Relationship between t_{10} and the t_n "family" of curves

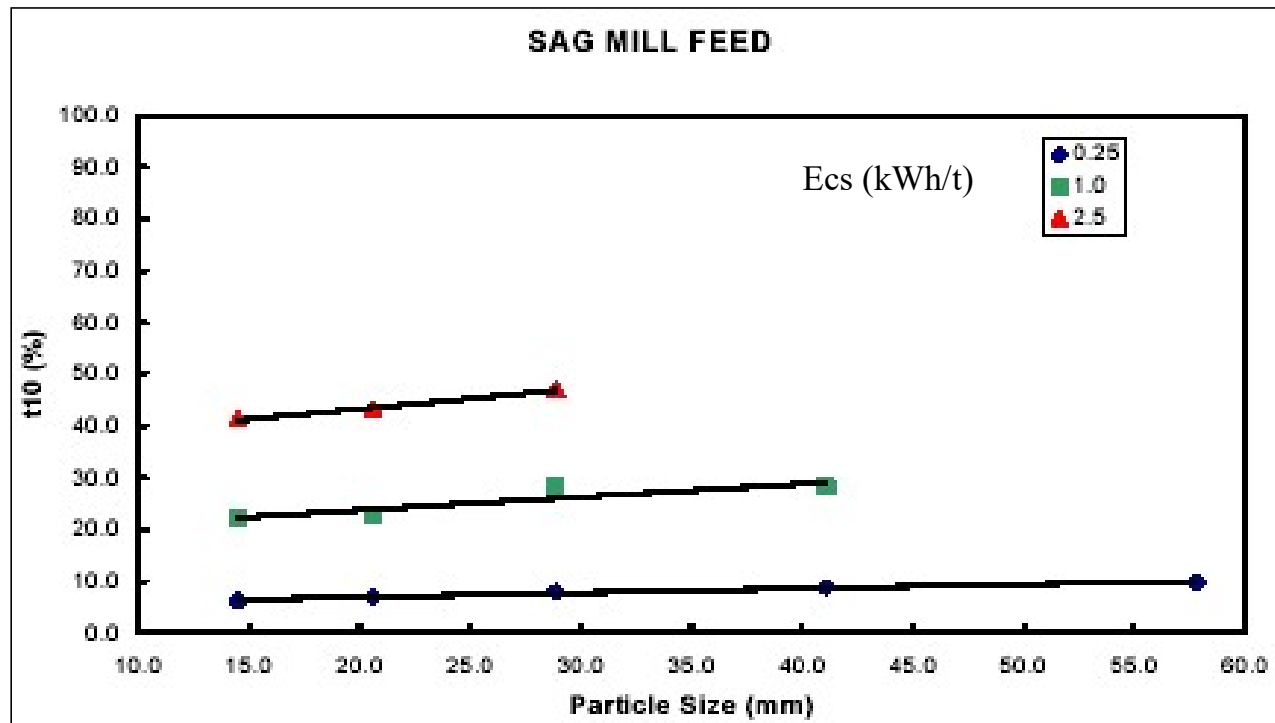
آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

داده‌های آزمایش وزنه افتان



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

داده‌های آزمایش وزنه افتان (ادامه)



آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

RQD (Rock Quality Data)

RQD (Rock Quality Designation/Designator)

داده‌های آزمایش وزنه افتان (ادامه)



Figure 5 – Examples of core RQD

- Examples of lower and higher RQD values cores are shown.
- In this example, the lower RQD value is 53 % and the higher value is 87%.
- As shown in the figure, the sample with lower RQD comprises of significantly fractured cores and fines. The sample with higher RQD value contains less fractured material.

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

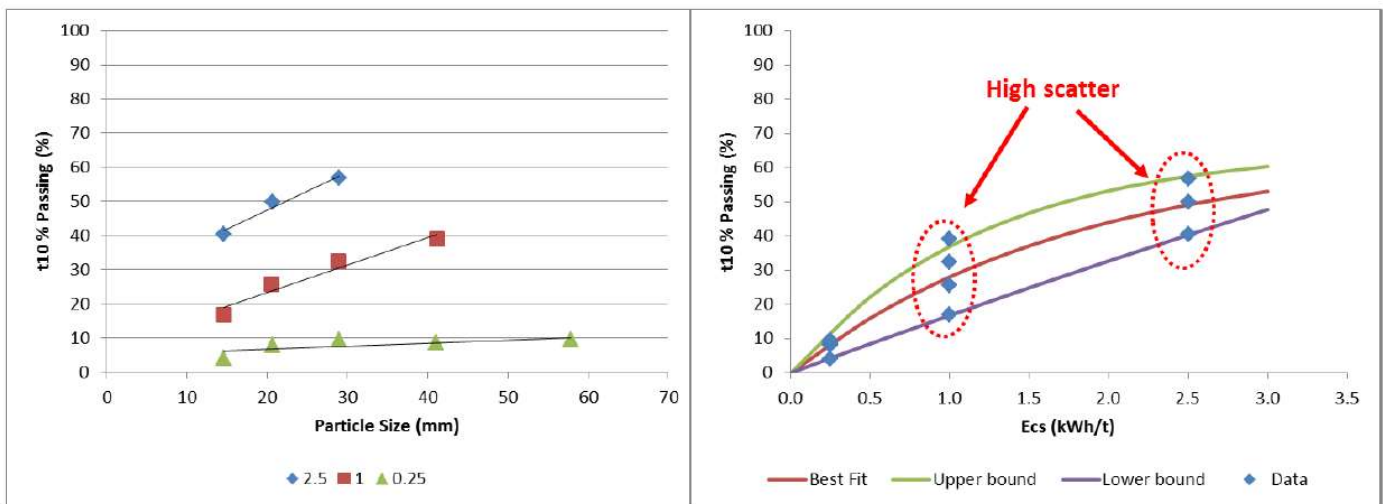


Figure 6 – Low RQD sample (high scatter) drop weight data, Best fit $Axb = 36.7$

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

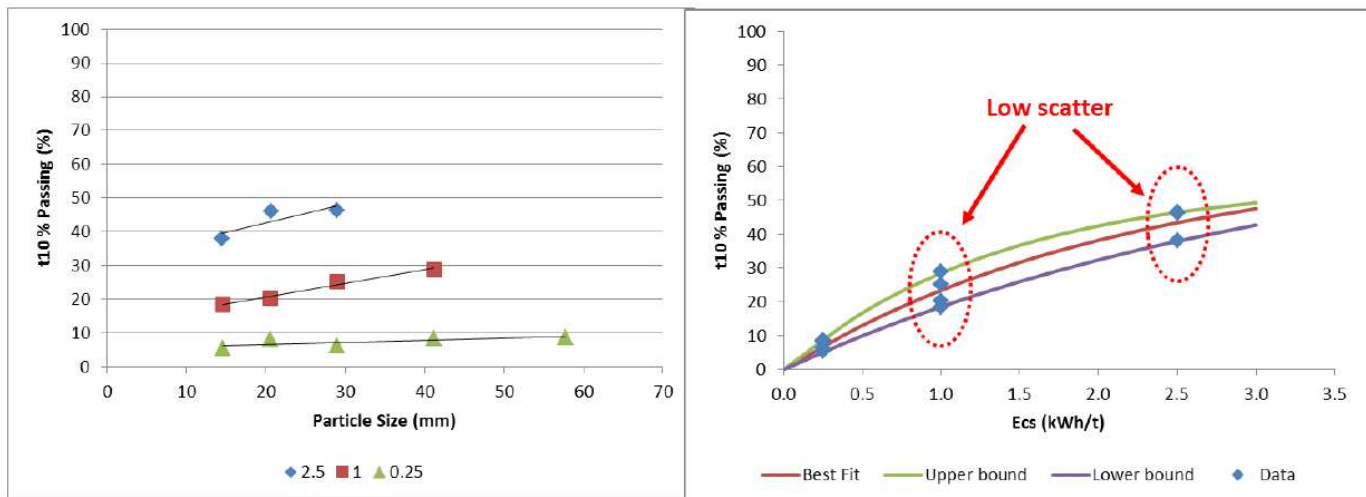


Figure 7 – High RQD sample (low scatter) drop weight data, Best fit $Axb = 29.2$

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

رابطه t_{10} با E

$$t_{10} = t_{10\max} \left(1 - e^{-\beta E / E_{50}}\right) \quad t_{10} = A[1 - \exp(-bE_{cs})]$$

$$E_i = m_d g (h_i - h_f)$$

where,

E_i : Impact breakage energy ($m^2 \text{ kg/sec}^2$)

m_d : Mass of drop weight head (kg)

h_i : Initial height of the drop-weight above the anvil (m)

h_f : Final height of the drop-weight above the anvil (m)

$$E_{cs} = E_i / m_p$$

where,

E_{cs} : Specific comminution energy in kWh/t

m_p : Mean particle mass in g.

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

پارامترهای تعیین کننده ارتباط t_{10} با انرژی ضربه ویژه برای برخی از کانی‌ها و مواد

Table 5.2 Parameters that relate t_{10} to the specific impact energy for some common minerals

Material	t_{10max}	β
Apatite	45.4	0.0115
Basalt	52.0	0.0252
Cement clinker 1	69.2	0.0276
Cement clinker 2	60.5	0.0437
Copper ore 1	44.8	0.0263
Copper ore 2	58.9	0.0204
Galena	44.5	0.0176
Hematite	45.6	0.0164
Iron ore	65.4	0.0932
Limestone	54.5	0.0176
Magnetite	47.1	0.0098
Marble	76.3	0.0792
Quartz	38.8	0.0176
Titanium ore	51.0	0.0269

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

انرژی شکست میانه (Median Fracture Energy)

$$E_{50} = E_{\infty} \left(1 + \frac{d_0}{d_p - d_{p \min}} \right)^{\varphi}$$

E_{50} = انرژی شکست میانه

E_{∞} = انرژی شکست میانه برای ذرات بزرگتر از 1 سانتی متر

d_0 و φ = پارامترهای وابسته به ماده معدنی

d_p = اندازه ذره

$d_{p \min}$ = اندازه ذره‌ای است که ذرات با ابعاد کوچک‌تر از آن بر اثر ضربه شکسته نمی‌شوند و فقط تغییر شکل می‌دهند.

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

پارامترهای تعیین کننده ارتباط انرژی شکست ذره میانه با اندازه ذره برای برخی از کانی‌ها

Table 5.1 Parameters that relate the median mass-specific particle fracture energy to particle size for some common minerals

Material	E_{50} , J/kg	d_{50} , mm	ϕ	Size Range, mm
Apatite	1.05	19.3	1.62	0.25 - 8.00
Copper ore	96.1	1.17	1.26	0.25 - 15.8
Galena	3.19	7.31	1.03	0.70 - 7.60
Gilsonite	5.50	7.03	1.60	1.18 - 10.0
Iron ore	47.3	1.08	2.30	0.25 - 15.0
Limestone	114.2	0.490	2.05	0.35 - 5.60
Magnetite	9.56	3.93	1.96	0.25 - 7.20
Marble	45.9	0.882	2.66	0.50 - 15.0
Quartz	43.4	3.48	1.61	0.25 - 4.75
Sphalerite	7.00	8.24	1.16	0.35 - 10.0
Taconite (sample 1)	235.9	0.803	1.42	0.35 - 6.00
Taconite (sample 2)	163.3	0.856	1.76	0.35 - 10.0

Source: Reprinted from Tavares and King 1998 with permission from Elsevier

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

پارامترهای مورد بررسی در آزمایش وزنه افتان

• پارامتر شکست سایشی t_a

$$t_a = \frac{t_{10}}{10}$$

• پارامتر شکست ضربه‌ای A^*b

Property	Very Hard	Hard	Mod. Hard	Medium	Mod. Soft	Soft	Very Soft
A^*b	<30	30-38	38-43	43-56	56-67	67-127	>127
t_a	<0.24	0.24-0.35	0.35-0.41	0.41-0.54	0.54-0.65	0.65-1.38	>1.38

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMR (JKMRC Drop Weight Test)

پارامترهای مورد بررسی در آزمایش وزنه افتان

Table 2.2. The results of JK drop weight test related to ore hardness (Napier-Munn et al. 1999).

A x b	<30	30-38	38-43	43-56	56-67	67-127	>127
Property	Very Hard	Hard	Mod. Hard	Medium	Mod. Soft	Soft	Very Soft

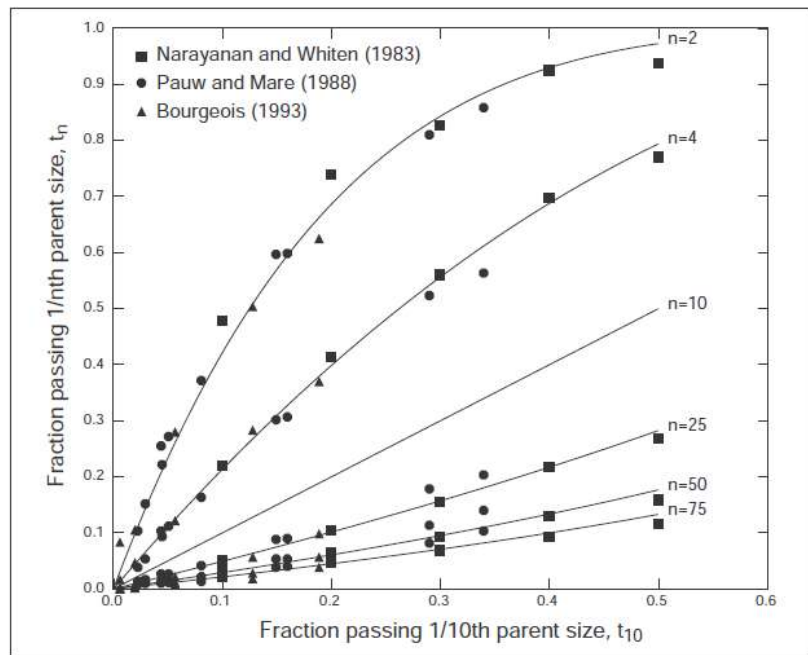
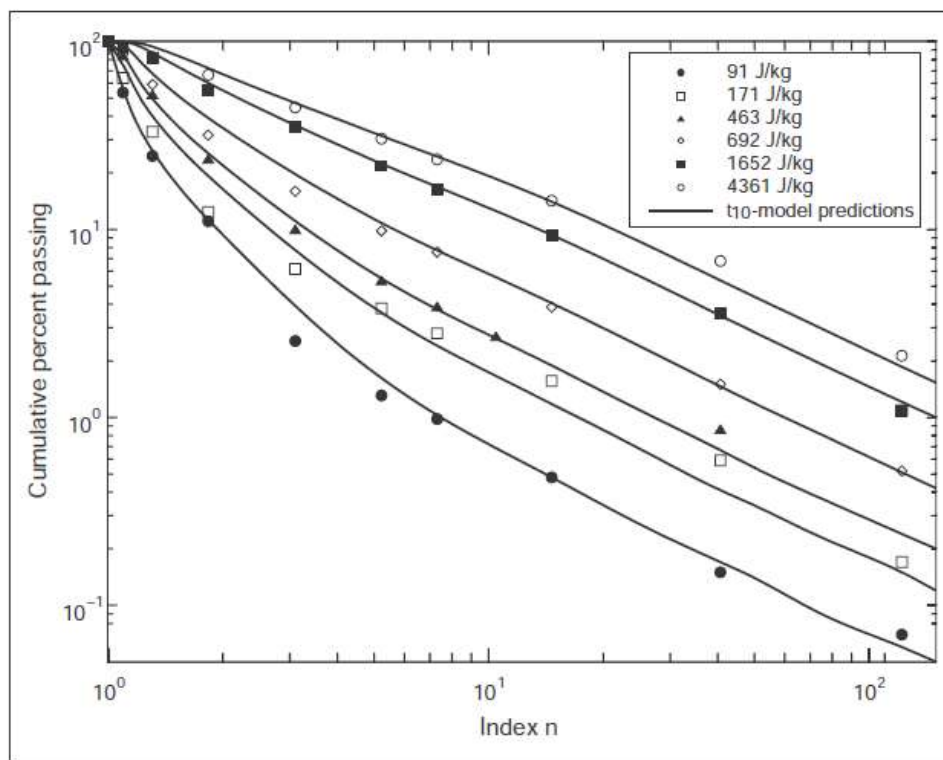


Figure 5.13 Reconstruction plot for the breakage function that is defined in terms of the parameter t_{10} . The solid lines were calculated using Equation 5.25 with $\lambda = 0.75$.

$$t_n = 1 - (1 - t_{10}) \left(\frac{10 - 1}{n - 1} \right)^\lambda \quad (5.25)$$

which shows the unique relationship between t_n and t_{10} . The parameter λ is material specific, but representative values for different materials have not yet been investigated.

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMR (JKMRC Drop Weight Test)



Source Adapted from Bourgeois 1993

Figure 5.12 Breakage functions measured in single-particle tests at different impact energies (3.35 to 4.00 mm quartz)

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

توابع مربوط به منحنی دانه‌بندی

- تابع توزیع کوتاه‌شده رزین-راملر
(Truncated Rosin-Rammler distribution)
- تابع توزیع کوتاه‌شده لجستیک
(Truncated logistic distribution)
- تابع توزیع کوتاه‌شده لگاریتمی - نرمال (گودین و شومن)
(Truncated log-normal distribution)
(Gaudin-Schuhmann)

توزیع رزین-راملر (ویبول) Rosin-Rammler (or Weibull) distribution

The Rosin-Rammler (or Weibull) distribution is expressed as

$$R = 100 \exp \left[- \left(\frac{x}{x^1} \right)^b \right] \quad (2.32)$$

where

R = cumulative mass % retained on size x

x^1 = size parameter, and

b = distribution parameter

Rearranging and taking the logarithm of both sides of Equation (2.32) gives

$$\log \left(\frac{100}{R} \right) = \left(\frac{x}{x^1} \right)^b \log e \quad (2.33)$$

Taking logarithms a second time to remove the exponent gives

$$\log \log \left(\frac{100}{R} \right) = b \log x - b \log x^1 + \log \log e$$

or

$$\log \log \left(\frac{100}{R} \right) = b \log x + \text{Constant} \quad (2.34)$$

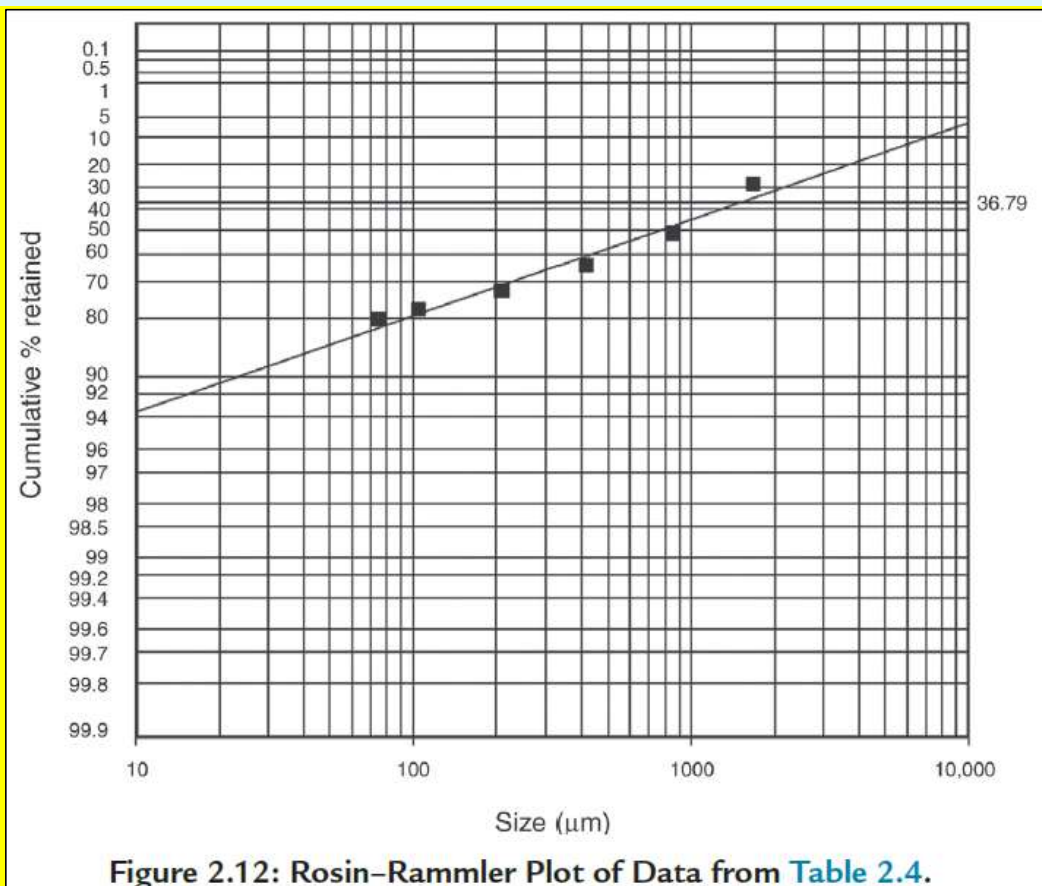
A plot of $\log \log (100/R)$ versus $\log x$ should give a straight line.

توزیع رزین-راملر (ویبول)
Rosin-Rammler (or Weibull) distribution

Table 2.4: Sieve analysis results.

Size Fraction (μm) (1)	Mass (%) (2)	Cumulative Mass % Retained (3)
–3350 + 1680	28.5	28.5
–1680 + 850	22.8	51.4
–850 + 420	13.2	64.6
–420 + 210	8.4	73.0
–210 + 105	5.0	78.0
–105 + 75	2.4	80.4
–75	19.6	100.0
Total	100.0	

توزیع رزین-راملر (ویبول)
Rosin-Rammler (or Weibull) distribution



توزیع لجستیک Logistic Distribution

The **logistic** distribution is defined by

$$P(D) = \frac{1}{1 + \left(\frac{D}{D_{50}}\right)^{-\lambda}} \quad (2.6)$$

D_{50} is the particle size at which $P(D_{50}) = 0.5$.

It is called the median size.

توزیع لگاریتمی-نرمال Log-Normal Distribution

2.3.2 Log-Normal Distribution

The distribution of sizes in a sample does not often follow a normal distribution, as in Figure 1.3, but is skewed to the right. It may, however, match a log-normal distribution.

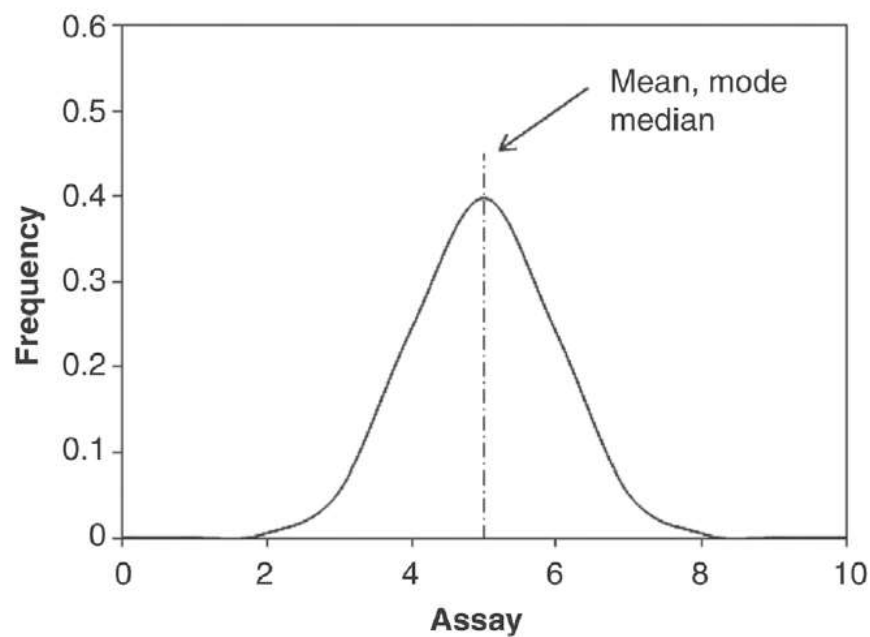


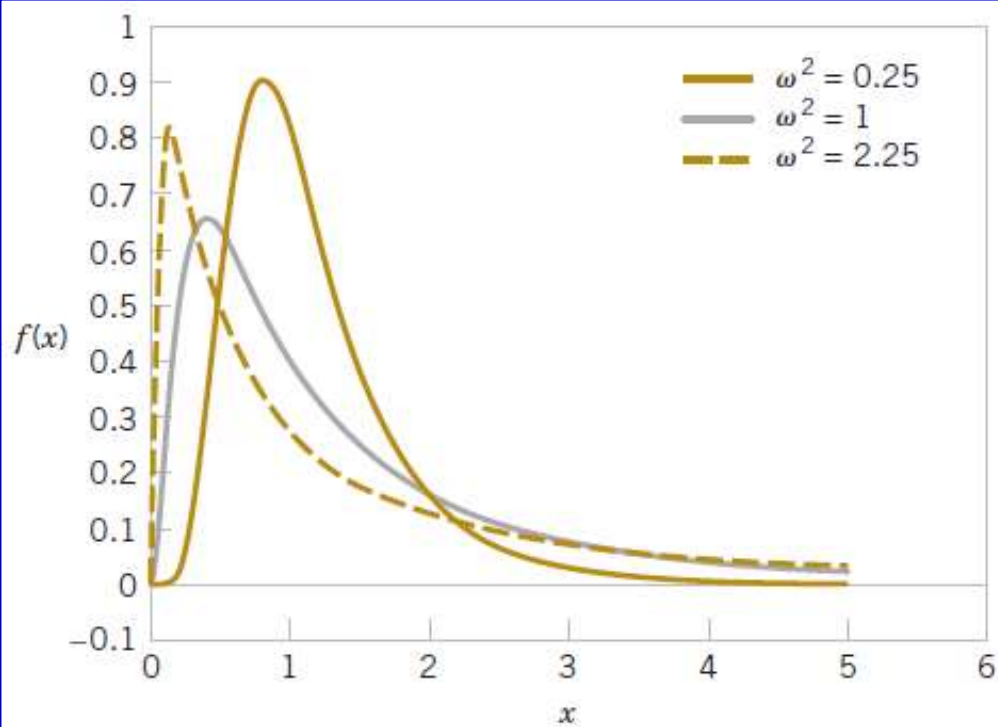
Figure 1.3: Normal Distribution.

توزیع لگاریتمی-نرمال
Log-Normal Distribution

$$f(x) = \frac{1}{x\omega\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(x) - \theta)^2}{2\omega^2}\right] \quad 0 < x < \infty$$

$$E(X) = e^{\theta + \omega^2/2} \quad \text{and} \quad V(X) = e^{2\theta + \omega^2} (e^{\omega^2} - 1)$$

توزیع لگاریتمی-نرمال Log-Normal Distribution



توابع چگالی احتمال لاگ نرمال با $\theta = 0$ برای مقادیر
انتخاب شده از ω^2 .

توزیع گودین-شومن
Gaudin-Schuhmann distribution

The Gaudin-Schuhmann distribution is given as

$$y = 100 \left(\frac{x}{k} \right)^a \quad (2.30)$$

where

y = cumulative mass % passing size x

x = screen aperture size

k = size parameter

a = distribution parameter

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

رابطه t_n با t_{10} بر اساس تابع توزیع کوتاه‌شده رزین-رامبر

$$t_n = 1 - (1 - t_{10}) \left(\frac{10-1}{n-1} \right)^\lambda$$

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC
(JKMRC Drop Weight Test)

رابطه t_n با t_{10} بر اساس تابع توزیع کوتاه‌شده لجستیک

$$t_n = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - t_{10}}{t_{10}} \right) \left(\frac{n - 1}{9} \right)^\lambda}$$

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMR (JKMRC Drop Weight Test)

رابطه t_n با t_{10} بر اساس تابع توزیع کوتاه‌شده لگاریتمی – نرمال

$$t_n = G \left[\frac{1}{\sigma} \ln \left(\frac{9}{n-1} \right) + G^{-1}(t_{10}) \right]$$

where $G(x)$ is the function

$$\begin{aligned} G(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt \\ &= \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

which is called the Gaussian or normal distribution function. It is tabulated in many mathematical and statistical reference books, and it is easy to obtain values for this function. In this distribution, D_{50} is the particle size at which $P(D_{50}) = 0.5$. It is called the median size. σ is given by

$$\sigma = \frac{1}{2} (\ln D_{84} - \ln D_{16}) \quad (2.5)$$

آزمایش وزنه افتان (سقوط وزنه) JKMRC (JKMRC Drop Weight Test)

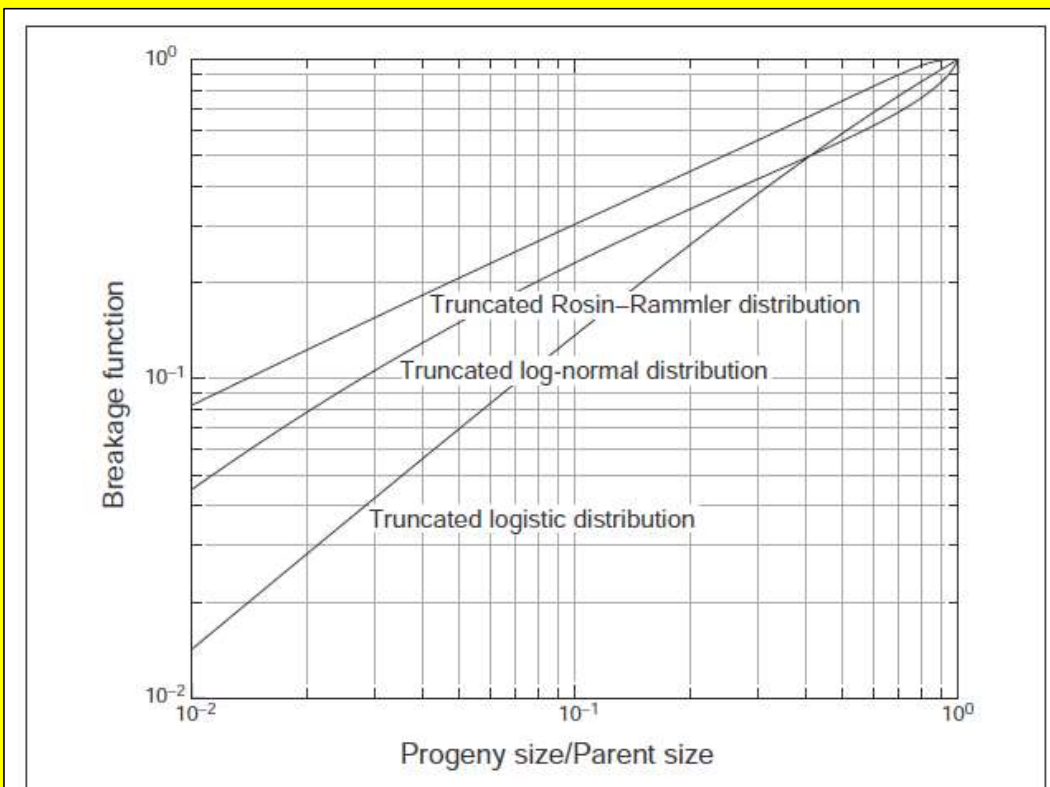


Figure 5.11 Typical representations of the breakage function using standard truncated distribution functions

تست خردایش استیو مورل

SMC Test (Steve Morrell comminution Test)

- The **SMC Test** was developed by Morrell to provide a range of comminution parameters from the breakage of relatively small amounts of small-diameter drill core.
- SMC is an acronym for **Steve Morrell comminution** (not **SAG mill comminution** as is incorrectly stated in some published literature).
- SMC Testing Pty Ltd. currently owns the SMC Test.

تست خردایش آسیای نیمه خودشکن (SMC) (Semiautogenous Mill Comminution)

- برای حالاتی که مقدار زیادی از کانسنگ برای آزمایش در دسترس نیست، مورل (Morrell) یک تست خردایش آسیای نیمه خودشکن (SMC) را برای تولید مقادیر A و b توسعه داد.
- تست SMC نسخه‌ای مختصر و ارزان‌تر شده از تست سقوط وزنه است که می‌تواند روی سنگ‌های کوچک یا مغزه‌های حفاری انجام شود.
- مغزه‌ها به ربع استوانه‌هایی با استفاده از اهر بریده می‌شوند و سپس تست مانند روش سقوط وزنه انجام می‌شود به جز اینکه تنها یک کسر ابعادی تست می‌شود.

When preparing the sample from crushed particles, one of three size intervals is selected:

<p>-31.5 + 26.5 mm</p> <p>-22.4 + 19.0 mm</p> <p>-16.0 + 13.2 mm</p>
--

تست خردایش آسیای نیمه خودشکن (SMC) (Semiautogenous Mill Comminution)

- این روش تست به ۱۰۰ تکه (حداقل ۶۰ تکه) از سنگ یا یک چهارم استوانه‌های مغزه در هر کسر ابعادی معین از روش تست سقوط وزنه نیاز دارد.
- برای ابعاد استاندارد (۲۷ تا ۳۲ میلی‌متر)، می‌توان با استفاده از سنگ‌شکنی مرحله‌ای تقریباً ۲۰ کیلوگرم نمونه با ابعاد زیر ۳۲ میلی‌متر بدست آورد.
- اگر تست روی سنگ‌های کوچکتر انجام شود، وزن نمونه کمتر (۵ کیلوگرم) اغلب کافی است.
- این تست، پارامترهای A و b را که در شبیه‌سازی JKSimMet استفاده می‌شوند و اندیس سقوط وزنه را بر حسب kWh/t تولید می‌کند.

تست خردایش آسیای نیمه خودشکن (SMC) (Semiautogenous Mill Comminution)

- تست از یک کسر ابعادی یکتا و ریزتر و بعلاوه تعداد کمتری نمونه (100 نمونه) استفاده می کند که دقت آن را محدود می کند.
- به طور معمول زون اصلی کانسنگ ذخیره با استفاده از روش کامل تست می شود تا تست SMC را کالیبره کند.
- سپس می تواند برای تولید اطلاعات جزئی تر در هزینه های پایین تر روی نمونه های محلی استفاده شود به شرطی که مشخصات زمین شناسی قابل مقایسه ای داشته باشند.
- این تست یک اندیس سقوط وزنه (DWI) را تخمین می زند که با مقادیر A و b تولید شده از تست سقوط وزنه با ابعاد کامل انطباق داده می شود.

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))



Source: Amelunxen et al. 2016

Figure 19 SPI mill

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

Equations

The original equation in which the SPI was used is as follows (Starkey and Dobby 1996):

$$\text{SAG kW}\cdot\text{h/t} = (2.2 + 0.1 \text{ SPI}) / T_{80}^{0.33} \quad (\text{EQ 29})$$

where T_{80} is the 80% passing size of the SAG circuit product (so-called transfer size).

Equation 29 was subsequently modified to the form shown in Equation 30 (Dobby et al. 2001).

$$\text{SAG kW}\cdot\text{h/t} = K (\text{SPI} \times T_{80}^{-0.5})^n f_{\text{sag}} \quad (\text{EQ 30})$$

where

K, n = proprietary constants

f_{sag} = feed size and pebble crusher function

The f_{sag} function is proprietary. Proprietary /prə'praɪətəri \$ -teri/:
اختصاصی، انحصاری، متعلق به مالک

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

- تست SPI یک تست ناپیوسته در آسیای 305 میلی متری است.
- تست با شارژ 15 درصدی گلوله با ابعاد 25 میلی متر و یک شارژ کلی 24 درصدی آسیا انجام می شود.
- خوراک تست با F_{80} 12.5 میلی متری (0.5 اینچ) است و تست تا زمانی اجرا می شود که شارژ کانسنگ ناپیوسته به P_{80} 1.7 میلی متر یا 10 مش خرد شود.
- سپس زمان مورد نیاز برای رسیدن به P_{80} 10 مش به اندیس توان از طریق استفاده از یک تبدیل مناسب تبدیل می شود.
- تست SPI کمترین پیک انرژی اسمی را نسبت به تست های خصوصیت سنجی توصیف شده دارد و همچنین پایین ترین سطح انرژی بر حسب ژول بر کیلوگرم را برای بزرگترین ابعاد ذره در آسیا دارد.

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

- بعلاوه تست در اصل یک نشانگر از پاسخ شکست کانسنگ به رویدادهای سایش است.
- نسبت به تست‌های ناپیوسته دیگر، این تست با این حقیقت که هیچ‌گاه به یک بار آسیای حالت پایدار نمی‌رسد، محدود می‌شود.
- برنامه MinnovEX CEET (ابزار ارزیابی اقتصادی خردایش) (Comminution Economic Evaluation Tool) برای استفاده از نتایج تست SPI توسعه داده شده است.
- در حال حاضر استفاده از نتایج تست در اصل در برنامه CEET است، اگرچه نتایج می‌تواند با نتایج در پایگاه داده مقایسه شود.

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))



اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))



اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))



اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

□ روش انجام تست SPI برای خوراک آسیای نیمه خودشکن:

□ نمونه‌گیری از خوراک آسیا هم می‌تواند در معدن صورت بگیرد و هم از نوار خوراک‌دهی به آسیا.

□ بطور کلی نمونه‌گیری از نوار خوراک SAG MILL به مدت یک ساعت به این صورت انجام می‌گیرد که در کنار نوار می‌ایستیم و هر 5 دقیقه دو یا سه قطعه سنگ حدوداً به اندازه کف دست از روی نوار بر می‌داریم (هر قطعه به وزن تقریبی 150 تا 300 گرم).

□ بعد از تهیه نمونه، نمونه باید توسط سنگ‌شکن فکی خرد شود بطوریکه 100% آن از سرنند 19 میلی‌متر عبور کند.

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

□ تهیه نمونه خوراک آسیای آزمایشگاهی:

- ❖ برای انجام این تست نیاز به 2 کیلوگرم خوراک می باشد. بطوریکه $F_{80} = 12.7 \text{ mm}$ یعنی 80% خوراک باید از سرنده 12.7 میلی متر عبور کند (1600 گرم) و 20% آن روی سرنده باقی بماند (400 گرم).
- ❖ برای این منظور همه نمونه را با سرنده 12.7 میلی متر سرنده کرده و به کمک تقسیم کننده عملیات تقسیم کردن را برای روسرنده و زیرسرنده آنقدر ادامه می دهیم تا به مقادیر ذکر شده در بالا برسیم.
- ❖ حال با مخلوط کردن این دو بخش، خوراک دو کیلویی آماده می شود. بهتر است برای بالا بردن دقت تست SPI، چندین نمونه 2 کیلویی با شرایط ذکر شده تهیه گردد و نتیجه تست به صورت میانگینی از نتایج بدست آمده بیان گردد.
- ❖ پایان تست SPI زمانی است که $P_{80} = 1.7 \text{ mm}$ برای محصول شاهد باشیم. در ابتدای شروع تست باید خوراک 2 کیلویی را با سرنده 1.7 میلی متری سرنده کنیم و وزن مقدار عبوری از سرنده را یادداشت کنیم تا بتوانیم مقدار خالص محصول زیر 1.7 میلی متر تولیدشده در هر مرحله از تست را مشخص کنیم.

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

□ مراحل آماده‌سازی آسیا و خوراک‌دهی:

- ❖ به کمک دسته تعبیه شده آسیا را در وضعیت عمودی (خوراک‌گیری) قرار می‌دهیم.
- ❖ در حدود 15% حجمی آسیا را با گلوله‌های 25 میلی‌متری پر می‌کنیم (حدود 68 عدد گلوله)
- ❖ خوراک 2 کیلویی را نیز به آسیا اضافه کرده و درب آن را می‌بندیم.
- ❖ آسیا را به وضعیت افقی بر می‌گردانیم. در این حالت آسیا آماده استارت است.

□ در پایان تست زمان انجام هر مرحله از تست را با هم جمع و به عنوان عدد SPI برای

تعیین توان آسیای نیمه خودشکن در فرمول مربوطه قرار می‌دهیم.

□ همانطور که گفته شد بهتر است برای بالا بردن دقت تست SPI، برای هر نمونه سه مرتبه این

تست با شرایط ذکر شده تکرار شود و نتیجه بصورت میانگینی از نتایج بدست آمده بیان گردد.

□ حال بعد از بدست آمدن عدد SPI می‌توان با استفاده از فرمول تجربی زیر انرژی لازم برای

خردایش سنگ معدن را محاسبه نمود:

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

➤ رابطه MinnovEX برای یک چرخه با شرایط استاندارد:

□ چرخه استاندارد، چرخه‌ای است که F_{80} خوراک ورودی به آسیای نیمه خودشکن آن بین 120 تا 180 میلی‌متر باشد و در مسیر خردایش از آسیای قلوه‌سنگی استفاده نشده باشد.

$$P = (K_{80})^{-0.33} (2.2 + 0.1 \text{ SPI}), r^2 = 0.94$$

که در آن،

P = توان آسیای نیمه خودشکن صنعتی، kWh/t

K_{80} = اندازه محصول نهایی آسیای نیمه خودشکن، mm

SPI = زمان حاصل از آزمایش، min

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

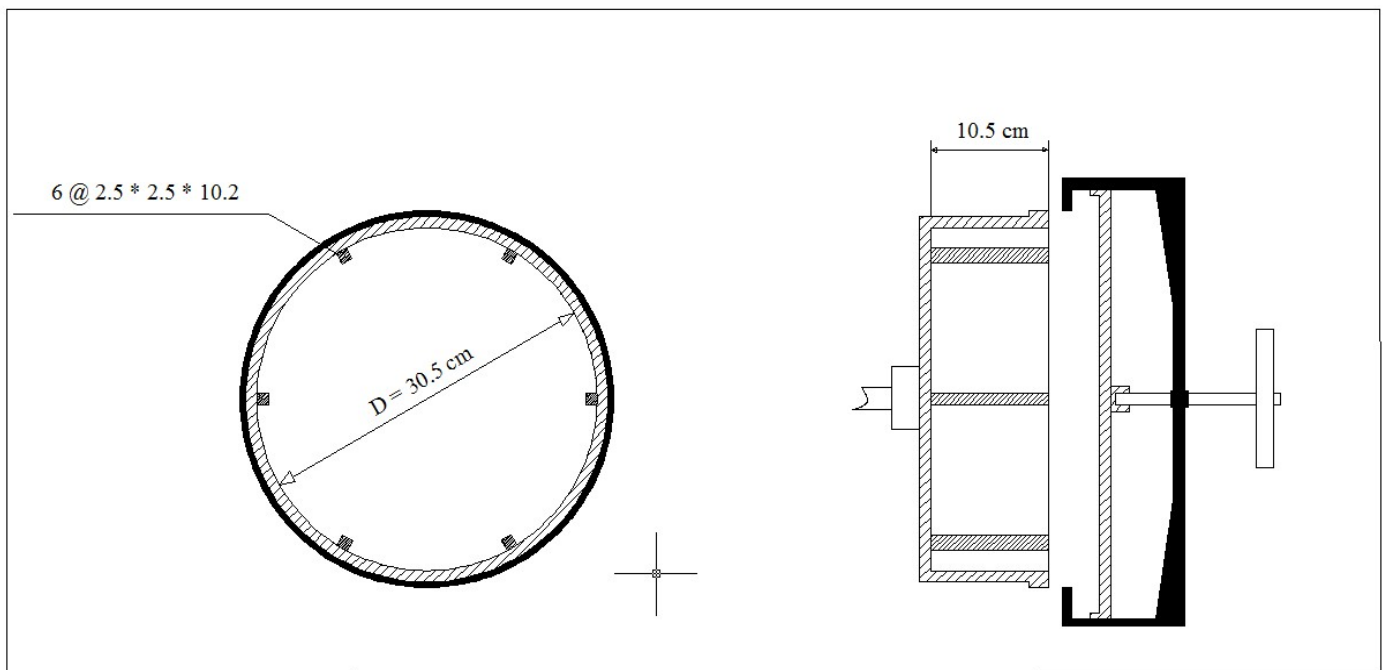
➤ ضریب تصحیح برای چرخه‌های غیر استاندارد:

اگر چرخه مورد نظر یکی از شرایط چرخه استاندارد را نداشته باشد، معادله قبل عدد دقیقی برای توان مصرفی بدست نمی‌دهد و برای تبدیل توان به دست آمده از آزمایش به توان واقعی مصرفی در آسیا **ضریب تصحیح A_{net}** مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر کافی است تنها یک بار A_{net} برای یک نمونه محاسبه شود و در موارد بعد با استفاده از معادله قبل و معادله زیر میزان توان واقعی مصرفی محاسبه شود.

$$A_{net} = (\text{kWh/t})_{\text{Actual}} / (\text{kWh/t})_{\text{std. circuit}}$$

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

تصویر شماتیک آسیای Starkey



□ در پایان تست زمان انجام هر مرحله از تست را با هم جمع و به عنوان عدد SPI برای تعیین توان آسیای نیمه خودشکن در فرمول مربوطه قرار می‌دهیم.

اندیس توان آسیای نیمه خودشکن (SAG Power Index (SPI))

- همانطور که گفته شد بهتر است برای بالا بردن دقت تست SPI، برای هر نمونه سه مرتبه این تست با شرایط ذکر شده تکرار شود و نتیجه بصورت میانگینی از نتایج بدست آمده بیان گردد.
- حال بعد از بدست آمدن عدد SPI می‌توان با استفاده از فرمول تجربی زیر انرژی لازم برای خردایش سنگ معدن را محاسبه نمود:

$$4 P$$

$$= [0.09 (SPI)^{0.9}] + [8.26 (K_{80})^{-0.2}] +$$

$$\left[0.49 \left(\frac{H}{1000} \right) + 7.79 \right] + \left[5.50 \left(\frac{p}{1000} \right) - 17.66 \right], r^2 = 0.865$$

که در آن،

P = توان ویژه مصرفی آسیای نیمه خودشکن، kWh/t

SPI = شاخص توان آسیای نیمه خودشکن، min

K₈₀ = اندازه محصول نهایی آسیای نیمه خودشکن (زیرسندی)، μm

H = مدت زمان کارکرد آسترهای جداره، h

p = فشار یاتاقان سر آزاد آسیای نیمه خودشکن، kPa

SAGDesign آزمایش

<http://sagdesign.com/home/> 



John H. Starkey, B.A.Sc., P. Eng
Principal Consulting Engineer and President



آزمایش SAGDesign

□ به سبب آنکه آسیای Starkey به اندازه کافی دقیق نبود و فرمول ارائه شده توسط Starkey (رابطه MinnovEX برای یک چرخه با شرایط استاندارد) تنها در موارد خاص معتبر بود، در سال‌های اخیر Starkey و همکارانش درصدد یافتن رابطه‌ای برای پیش‌بینی توان مصرفی آسیاهای نیمه‌خودشکن بوده‌اند که، همانند اندیس کار باند که برای همه آسیاهای گلوله‌ای معتبر است، برای تمام آسیاهای نیمه‌خودشکن معتبر باشد. برای این منظور افراد مذکور تلاش کرده‌اند با استفاده از آسیای آزمایشگاهی زیر این مشکل را حل کنند.

آزمایش SAGDesign



آسیای آزمایشگاهی SAGDesign

آزمایش SAGDesign

❑ خوراک این آسیا از نمونه‌های مغزه تقریباً 10 کیلوگرمی تهیه می‌شود که K_{80} آن‌ها 152 میلی‌متر است و سپس سنگ‌شکنی می‌شود تا به ابعاد 80% عبوری از سرند 19 میلی‌متر برسد. اندازه محصول این آسیا ذرات با ابعاد 80% عبوری از سرند 1.7 میلی‌متر می‌باشد. نهایتاً از محصول آسیای نیمه‌خودشکن برای آزمایش اندیس کار آسیای گلوله‌ای باند استفاده می‌شود.

❑ مشخصات آسیای مورد استفاده و معادله کالیبره شده برای آزمایش SAGDesign در زیر آمده است:

- ❑ قطر آسیا: 488 mm
- ❑ طول آسیا: 163 mm
- ❑ حجم بار ورودی: 4.5 لیتر
- ❑ سرعت بحرانی آسیا: 76%
- ❑ حجم گلوله‌های فولادی: 11% (16 کیلوگرم)

آزمایش SAGDesign

□ معادله کالیبره شده برای آزمایش SAGDesign:

$$\text{kWh/t} = \text{Revs} \times (\text{g} + 16000) / (447.3\text{g})$$

که در آن،

□ Revs: تعداد دور آسیا برای نرم کردن کانسنگ تا ابعاد 80% ریزتر از 1.7 میلی متر

□ g: وزن کانسنگ مورد آزمایش، گرم

□ 16000: وزن گلوله های فولادی برحسب گرم

□ 447.3: ضریب محاسبه شده از آزمایش های تجربی

THE END



Thank You



CommentFrenzy.com

**Good Luck
My Friend!**

A colorful graphic featuring several overlapping hearts in yellow, pink, red, and purple, surrounded by various colored stars. The text "Good Luck My Friend!" is written in a large, blue, bubbly font. A small watermark "CommentFrenzy.com" is visible near the top right of the graphic.